

Agrimonde

Agricultures et alimentations du monde en 2050 : scénarios et défis pour un développement durable

Mercredi 25 février 2009

Rapport



Contacts :

Bruno Dorin (en particulier pour Agribiom),
CIRAD - UMR CIRED
TA C-56/15, 73 rue Jean-François Breton,
34398 Montpellier Cédex 5
courriel : Bruno.Dorin@cirad.fr
tél. : +33 4 67 61 75 82
fax : +33 4 67 61 44 15

Sandrine Paillard,
INRA - Unité Prospective
147 rue de l'Université,
75338 Paris Cédex 07
courriel : Sandrine.Paillard@paris.inra.fr
tél. : +33 1 42 75 95 37
fax : +33 1 42 75 95 32

Agricultures et alimentations du monde en 2050 : Scénarios et défis pour un développement durable

**Rapport du groupe de travail *Agrimonde*
Février 2009**

Agricultures et alimentations du monde en 2050 : Scénarios et défis pour un développement durable

Jean-Marc Chaumet, Francis Delpeuch, Bruno Dorin, Gérard Gherzi,
Bernard Hubert, Tristan Le Cotty, Sandrine Paillard, Michel Petit,
Jean-Louis Rastoin, Tévécia Ronzon, Sébastien Treyer

Prospective Agrimonde

Cette prospective explore les futurs possibles des agricultures et alimentations du monde en 2050. Elle cherche à déceler les questions fondamentales auxquelles la recherche agronomique sera confrontée afin de fournir au CIRAD et à l'INRA les moyens d'anticiper et de préparer l'avenir en termes de dispositif et d'orientation de la recherche publique, comme en termes de positionnement stratégique au niveau international.

Le dispositif

Le projet a été mené par un collectif, qui a réuni, pour une vingtaine d'ateliers de réflexion de juin 2006 à décembre 2008, un groupe de travail et une équipe projet.

Comité de pilotage

Bernard Hubert, GIP IFRAI

Patrick Caron, CIRAD

Catherine Esnouf, INRA

Alain Weil, CIRAD

Groupe de travail

Bernard Bachelier, Fondation FARM

Danielle Barret, CIRAD

Pierre-Marie Bosc, CIRAD

Jacques Brossier, GIP IFRAI

Jean-Pierre Butault, INRA

Christian Hoste, CIRAD

Bernard Hubert, GIP IFRAI

Marie de Lattre-Gasquet, CIRAD, Agence Nationale de la Recherche

Jean-Christophe Debar, Pluriagri

Francis Delpeuch, IRD

Fabrice Dreyfus, SupAgro Montpellier

Gérard Gherzi, Maison des Sciences de l'Homme de Montpellier

Michel Griffon, Agence Nationale de la Recherche et CIRAD

Denis Lacroix, IFREMER

Jacques Loyat, Ministère de l'agriculture et de la pêche, DGER

Michel Petit, Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier

Jean-Louis Rastoin, SupAgro Montpellier

Equipe projet

Sébastien Treyer, ENGREF, AgroParisTech (Chef de projet)

Maryse Aoudaï, INRA

Rémi Barré, INRA et CNAM

Jean-Marc Chaumet, INRA

Bruno Dorin, CIRAD

Isabelle Karcher, INRA

Tristan Le Cotty, CIRAD

Sandrine Paillard, INRA

Laurent Parrot, CIRAD

Tévécia Ronzon, INRA

L'équipe Agrimonde tient à remercier très chaleureusement pour leur contribution à la réflexion Gilles Allaire, Rigas Arvanitis, Olivier Clément, Paul Colonna, Yves Dronne, Christophe Ferlin, Louise Fresco, Vincent Gitz, Ghislain Gosse, François Houllier, Jean-Charles Hourcade, Géraldine Kutas, Xavier Leverve, Claudia Ringler, Laurence Roudart et Christian Salle. Un grand merci également pour leur appui à Jean-François Foucher du CIRAD, au Conseil Français de l'Energie et à l'équipe de l'unité prospective de l'INRA, en particulier Claude Ladhuie.

Sigles, Glossaire

AM	Scenario “ <i>Adapting Mosaic</i> ” (“Mosaïque d’adaptation”) du MEA
ASIA	<i>Asia</i> , Asie (selon zonage MEA)
CFE	Conseil Français de l’Energie
CDU	Comptes Disponibilité-Utilisation de la FAO (SUA en anglais : <i>Supply-Utilization Accounts</i>)
CIRAD	Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
CIRED	Centre International de Recherche sur l’Environnement et le Développement
DPI	Droit de Propriété Intellectuelle
FAO	<i>Food and Agriculture Organisation of the United Nations</i> , Organisation des Nations unies pour l’alimentation et l’agriculture
FEED	Produits alimentaires utilisés pour l’alimentation des animaux, après transformation ou non (maïs, tourteaux d’oléagineux comestibles...)
FMN	Firme MultiNationale
FOOD	Produits alimentaires utilisés pour l’alimentation des êtres humains, après transformation ou non (blé, maïs, pain... huiles... fruits et légumes... lait, viandes, poissons...)
FSU	<i>Former Soviet Union</i> , ancienne Union Soviétique (selon zonage MEA)
g	Gramme
G	Giga, milliard
GES	Gaz à effet de serre
GIEC	Groupe Intergouvernemental d’étude de l’Evolution du Climat (IPCC en anglais)
GAA	Group d’Appui Agrimonde
Gkcal	Giga kilocalories, ou milliard (10 ⁹) de kilocalories (kcal)
GO	Scenario “ <i>Global Orchestration</i> ” (“Orchestration globale”) du MEA
ha	hectare
IAASTD	<i>International Assessment of Agricultural Science and Technology for Development</i>
IFPRI	International Food Policy Research Institute
IFRAI	Initiative Française pour la Recherche Agronomique Internationale
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
j	Jour
K, k	Kilo, millier
kcal	Kilocalories
kg	Kilogramme
IAASTD	<i>International Assessment of Agricultural Knowledge, Science & Technology for Development</i>
LAM	<i>Latin America</i> , Amérique latine (selon zonage MEA)
M	Mega, million
MEA	<i>Millennium Ecosystem Assessment</i>
MENA	<i>Middle East and North Africa</i> , Moyen Orient et Afrique du Nord (selon zonage MEA)
MNTA	Maladies Non Transmissibles liées à l’Alimentation
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> , Organisation de coopération et de développement économiques (selon zonage MEA)
ONG	Organisation Non Gouvernementale
OS	Scenario “ <i>Order from Strength</i> ” (“Ordre suivant la force”) du MEA
R&D	Recherche et Développement
RSE	Responsabilité Sociale des Entreprises
SCA	Surface cultivée alimentaire
SCNA	Surfaces cultivées non-alimentaires
SSA	Afrique Sub-saharienne, <i>Sub-Saharan Africa</i> (selon zonage MEA)
TG	Scenario “ <i>Techno Garden</i> ” (“Techno jardin”) du MEA
URSS	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
USDA	<i>United States Department of Agriculture</i> , département de l’Agriculture des États-Unis
VANA	Valorisation agricole non-alimentaire

Sommaire

Introduction : La prospective AGRIMONDE : Une initiative de l'INRA et du CIRAD pour créer une plateforme d'analyse critique de scénarios pour la réflexion stratégique collective

I. AGRIMONDE : UNE PLATEFORME POUR ANIMER LA REFLEXION SUR LE DEVENIR DES AGRICULTURES ET ALIMENTATIONS DU MONDE

- I.1 De la construction de scénarios à la conception d'une plateforme d'animation prospective
- I.2 AGRIBIOM : un module quantitatif rétro-prospectif

II. AGRIMONDE 1 ET AGRIMONDE GO : EXPLORATION PROSPECTIVE

- II.1 Des scénarios du MEA aux principes de construction du scénario Agrimonde 1
- II.2 Les hypothèses quantitatives des scénarios
- II.3 Les bilans Ressources-Emplois : comparaison des scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO
- II.4 Agrimonde 1 et Agrimonde GO : confrontation, cohérence, facteurs d'évolution
- II.5 De l'exploration des hypothèses qualitatives aux récits de scénarios

III. REGARDS SUR LES ENJEUX RELATIFS AUX OPTIONS TECHNOLOGIQUES, AUX COMPORTEMENTS ALIMENTAIRES ET AUX ECHANGES

- III.1 Pistes d'approfondissements
- III.2 Options pour l'intensification écologique : changements techniques, sociaux et territoriaux
- III.3 Les comportements alimentaires en question : les ruptures envisagées sont-elles plausibles ?
- III.4 Echanges et régulations : quelles perspectives ?

Annexes

Table des matières

LA PROSPECTIVE AGRIMONDE : UNE INITIATIVE DE L'INRA ET DU CIRAD POUR CREER UNE PLATEFORME D'ANALYSE CRITIQUE DE SCENARIOS POUR LA REFLEXION STRATEGIQUE COLLECTIVE

Patrick Caron, Hervé Guyomard, Bernard Hubert

Le domaine d'étude relatif à la production agricole et à l'alimentation mondiales dans ses interactions avec l'objectif de développement durable fait l'objet de très nombreux travaux et débats. Il est désormais l'un de ceux où se révèlent et s'affrontent les positions, voire les idéologies, dans l'arène géopolitique : il touche en effet aux questions de régulations internationales concernant la gestion des biens publics mondiaux et le commerce international; il touche à la conception des relations science – société et renvoie finalement aux conceptions du progrès, voire à celles du devenir de la planète.

On assiste ainsi depuis quelques années à l'enrichissement et à la complexification du domaine par convergence de travaux d'origines et de traditions variées : modélisations économétriques originellement dédiées à l'analyse des politiques agricoles, travaux de prospective mondiale d'inspiration géopolitique ou concernés par le développement durable global, travaux de modélisation sur l'impact des changements climatiques ; s'y ajoutent maintenant les travaux sur l'énergie ou encore les résultats issus de processus internationaux d'expertise scientifique sur les écosystèmes ou la diversité biologique. Il n'est guère aujourd'hui d'organisation internationale, grande ONG ou pays qui n'intervienne d'une façon ou d'une autre dans les études et les débats sur le futur de la production agricole et de l'alimentation mondiales, dans leurs interactions avec l'objectif de développement durable et leurs implications sur les relations internationales et les politiques publiques.

Il y a donc profusion d'informations, de données, de résultats et, corrélativement, grande illisibilité d'ensemble. La prise de conscience des risques globaux a conduit à multiplier les analyses et les enceintes internationales d'expression, mais sans que cela ne clarifie nécessairement les enjeux et les options, ni ne conduise à questionner les hypothèses sous-jacentes, qu'elles soient scientifiques ou idéologiques, ni à donner toute leur place à des réflexions ne s'insérant pas dans la doxa internationale.

Pour promouvoir réflexivité et échanges approfondis à partir des travaux existants, il convient à la fois de les décrypter et les interpréter ou les réinterpréter, d'en faire la critique en les mettant en perspective dans leurs attendus, leurs présupposés et leurs implications ; il convient aussi de les enrichir, de les élargir et de contribuer à leur qualité.

L'enjeu est de taille puisque ces travaux et les débats qu'ils suscitent sont le creuset où se construisent et s'établissent en normes internationales, un certain nombre de concepts, de raisonnements et de résultats ; l'enjeu est bien la construction du discours 'scientifique', 'raisonnable' et 'communément accepté par les experts', celui qui façonne l'action des organisations internationales et de la plupart des gouvernements. Ce discours influe alors sur l'agenda et les débats concernant les négociations internationales en matière d'agriculture, de commerce international ou d'aide au développement, sur l'action des organisations multilatérales, ainsi que sur l'orientation de la recherche agronomique au sens large.

Bien sûr, il y a influences réciproques entre un système de pensée (une idéologie) et les résultats des travaux d'analyse, mais il n'y a pas simple dépendance de l'un à l'autre. D'où la possibilité d'avancées, la qualité de travaux d'analyse faisant évoluer les représentations et ouvrant de nouveaux espaces à l'action des acteurs, et notamment à l'action publique, y compris internationale.

A côté de la nécessaire poursuite des travaux de recherche, il s'avère nécessaire de construire une plateforme permettant réflexivité et échanges approfondis. C'est l'ambition de l'opération de prospective Agrimonde, qui devrait ainsi occuper une place spécifique par rapport aux exercices

internationaux d'évaluation et de prospective, et tout particulièrement les suites qui pourraient être données à l'IAASTD¹ et les discussions en cours sur la réforme du système international de recherche agronomique.

Ainsi, au vu des implications de ces questions sur l'orientation de la recherche et des enjeux en termes de politiques publiques, les présidences de l'INRA et du CIRAD nous ont demandé il y a deux ans de « *produire des scénarios d'évolutions des productions, des consommations et des échanges agricoles mondiaux, ainsi que des connaissances scientifiques et techniques propres à l'agriculture. Il s'agira ensuite d'en tirer des leçons sur les rôles possibles pour la recherche, les politiques publiques et les régulations internationales.* »

L'opération de prospective Agrimonde ainsi définie a été confiée à une équipe projet constituée de membres de l'Unité Prospective de l'INRA et de chercheurs du CIRAD, coordonnés par Sébastien Treyer et sous la responsabilité de l'IFRAI². Elle se positionne ainsi dans le champ des productions agricoles et de l'alimentation mondiales dans leurs interactions avec l'objectif de développement durable. Ses objectifs généraux sont les suivants :

- concevoir les modalités d'une réflexion stratégique basée sur une approche prospective, afin d'éclairer les orientations de la recherche dans le domaine agronomie – alimentation au sens large ;
- initier le processus de débats, d'interactions et d'appropriation sur ces thèmes à l'échelle nationale ;
- favoriser la participation des experts français dans les débats internationaux sur le sujet.

Il a ainsi été demandé à l'équipe projet de situer son étude en regard des conditions de réalisation et des implications de deux scénarios à 2050 - le scénario le plus tendanciel du MEA³ et un scénario alternatif - afin à la fois de mesurer les relations d'interdépendance et les interactions entre les sphères agro-alimentaire et les perspectives pour la recherche, ainsi que d'envisager les dynamiques et la concomitance de leurs évolutions futures.

A cette fin, l'opération a cherché à aboutir à la constitution d'une intelligence prospective permanente grâce à la constitution d'une plateforme de construction, d'analyse et de mise en débat de scénarios. La première condition pour que l'exercice soit réaliste est à l'évidence que cette plateforme fonctionne à partir de données et résultats existants : il s'agit d'organiser et mettre en perspective des éléments existants et non de construire de nouvelles données ou de nouveaux modèles. La seconde condition est que la plateforme soit fondamentalement conçue comme dispositif d'interactions avec les experts, c'est-à-dire chercheurs, décideurs et plus généralement 'parties prenantes' et acteurs du système.

La plateforme proposée s'inscrit ainsi dans les principes fondamentaux de la démarche prospective :

- prise en compte du caractère systémique de la réalité, en intégrant explicitement la multiplicité des variables pertinentes,
- expression explicite des divergences, ainsi que de la variété des positions tant scientifiques qu'institutionnelles ou idéologiques, et prise en compte des incertitudes scientifiques, ceci par l'énoncé d'hypothèses et la construction de scénarios alternatifs, dans une optique d'exploration des possibles et en aucune façon de prévision,
- travail d'apprentissage collectif ayant une incidence sur les représentations par implication des experts et des parties prenantes dans le processus de travail lui-même,
- orientation à long terme de la réflexion pour pouvoir apprécier les effets individuels et combinés de l'évolution des variables, ainsi que les impacts des hypothèses sur les devenir possibles,
- déontologie s'exprimant par la transparence des étapes du travail, la référence aux meilleurs travaux scientifiques pour constituer la base analytique et les bases de données ainsi que le caractère explicite des simplifications effectuées et hypothèses formulées.

¹ International Assessment of Agricultural Knowledge, Science & Technology for Development

² Initiative Française pour la Recherche Agronomique Internationale (GIP constitué en 2007 par l'INRA et le CIRAD)

³ Millennium Ecosystem Assessment

C'est ainsi que l'opération Agrimonde se décline en trois produits, qui structurent les pages de ce rapport :

Produit I. La plateforme Agrimonde : conception d'une plateforme de prospective et de réflexion collective sur des scénarios des agricultures et alimentations du monde permettant d'aborder la question des rôles possibles pour la recherche, les politiques publiques, prioritairement en matière de recherche, et les régulations internationales.

Produit II. La construction et l'analyse stratégique de deux scénarios : mise en œuvre de cette plateforme pour l'examen de deux scénarios. L'analyse critique a été effectuée à partir de la déconstruction/reconstruction d'un scénario existant (*Global Orchestration* du MEA), permettant d'en exhiber les impasses et les manques éventuels et au besoin de les compléter, notamment par l'ajout de visions ou d'hypothèses alternatives, et par la création d'un nouveau scénario, Agrimonde 1, avec lequel il est comparé.

Produit III. La mise en débat : mise en débat des analyses et réflexions relatives à ces scénarios, conduisant éventuellement à des recommandations et des perspectives de mise en œuvre complémentaire de la plateforme. Cette partie n'est qu'ébauchée à ce stade du travail de réflexion ...

Le rapport qui suit présente les résultats de la première phase du projet Agrimonde. Les deux premières années (2006 à 2008) ont été consacrées à l'élaboration de la plateforme et à l'analyse et la construction de quelques scénarios. Ceci a reposé sur un groupe de travail, composé de chercheurs et d'experts de l'INRA, du CIRAD et d'autres organismes de recherche et *think tanks*, animé par l'équipe projet permanente. Un comité d'experts, constitué d'une vingtaine de représentants des principales institutions françaises parties prenantes de la réflexion et de la décision relatives aux systèmes alimentaires, a eu un rôle d'avis et de conseil. Les participants qui se sont impliqués dans la rédaction de ce rapport apparaissent ainsi en signataires des chapitres qu'ils ont rédigés.

Dans une première partie, est exposée la méthodologie employée pour la construction collective des scénarios et pour la quantification des hypothèses. En outre, cette partie explique les choix du groupe de travail en ce qui concerne les scénarios qu'il a construits. Dans une deuxième partie, il s'agit de présenter l'exploration prospective réalisée par le groupe de travail ; celle-ci va de la genèse des principes de scénarios (visions générales du devenir des alimentations et agricultures du monde), aux récits de scénarios en passant par la présentation des hypothèses quantitatives, l'analyse de la cohérence des scénarios, de leur confrontation et des facteurs d'évolution qu'ils sous-tendent. Enfin dans la troisième partie, il s'est agi de tirer quelques enseignements de l'analyse prospective réalisée et notamment de la confrontation des deux visions du devenir des agricultures et alimentations du monde portées par les scénarios Agrimonde. Des pistes d'approfondissement y sont également proposées.

PARTIE I
AGRIMONDE : UNE PLATEFORME POUR ANIMER LA
REFLEXION SUR LE DEVENIR DES AGRICULTURES ET
ALIMENTATIONS DU MONDE

Cette première partie est consacrée à la méthodologie développée dans la première phase du projet Agrimonde (2006-2008). Elle s'attache d'abord à présenter les raisons qui ont motivé le choix, par le groupe de travail, des scénarios à construire et à analyser ainsi que la plateforme Agrimonde, c'est-à-dire la méthode d'animation de la réflexion prospective (I.1). Sont présentés ensuite le module quantitatif Agribiom, outil central de la plateforme Agrimonde et les données rétrospectives (1961-2003) qu'il a permis de mettre à disposition des experts pour qu'ils fondent leur réflexion sur une bonne connaissance des tendances passées (I.2).

I.1 De la construction de scénarios à la conception d'une plateforme d'animation prospective

Sandrine Paillard, Sébastien Treyer, Bruno Dorin

Les deux premières années du projet Agrimonde ont été consacrées à la construction de deux scénarios :

1. « Agrimonde 1 » qui s'attache à décrire un système alimentaire et agricole durable en 2050 afin d'en explorer les conditions de développement, les dilemmes et les principaux défis.
2. « Agrimonde GO » qui consiste en la traduction du scénario *Global Orchestration* du MEA (*Millennium Ecosystem Assessment*) en un scénario agricole et alimentaire, alors que le MEA l'avait construit comme décrivant un des futurs possibles de la gestion des écosystèmes.

Cette exploration prospective a servi de « prototype » au développement d'une plateforme d'animation prospective. Ce premier chapitre s'attache à présenter les choix qui ont présidé à la construction des scénarios (I.1.1), la plateforme d'animation prospective (I.1.2), ainsi que le positionnement de cette plateforme par rapport à d'autres approches prospectives des équilibres alimentaires mondiaux (I.1.3).

I.1.1 Agrimonde 1, un scénario de développement durable, construit en référence aux scénarios du MEA

Le besoin d'une réflexion prospective sur le système agricole et alimentaire mondial est avant tout lié à la certitude, de plus en plus partagée, selon laquelle la poursuite des tendances actuelles en matière de consommation et de production agricoles rencontre des limites que seules des ruptures dans les comportements et/ou les technologies permettront de surmonter, et ce d'autant plus que trois tendances apparaissent comme inéluctable : 1) l'augmentation (encore) importante de la population mondiale, 2) le changement climatique et 3) la raréfaction et le renchérissement de l'énergie fossile. Face à ces tendances, plusieurs études mettent en évidence une possible stagnation des rendements obtenus dans diverses cultures dans le cadre des systèmes de production actuels. Par ailleurs, le MEA a également mis en évidence les tendances à la dégradation des écosystèmes qui peuvent constituer une menace pour les très divers services qu'ils rendent à l'humanité.

Le groupe de travail a choisi, pour la phase de travail 2006-2008 du projet Agrimonde, d'analyser sous l'angle des systèmes agricoles et alimentaires les scénarios du MEA, en particulier le scénario *Global Orchestration*, et de construire un seul nouveau scénario, en rupture par rapport aux scénarios du MEA. Trois principales raisons expliquent ce choix. La première est circonstancielle, les deux autres relevant davantage de questions de fond.

Tout d'abord, pour construire la plateforme Agrimonde, il fallait tester concrètement les choix méthodologiques successifs. Ainsi, nous n'avons pas construit d'abord la plateforme pour ensuite la mobiliser dans une réflexion prospective. Nous avons mené conjointement, dans un processus d'essais et d'erreurs, la construction de la plateforme d'animation et des scénarios. L'énergie consacrée à la construction de la plateforme, en particulier au module quantitatif Agribiom, présenté dans le deuxième chapitre de cette partie, ne nous permettait pas de nous lancer dans la production

d'un ensemble cohérent de nouveaux scénarios. Il nous fallait limiter le nombre de scénarios à construire et à analyser.

Or, à l'époque du lancement du projet, les scénarios du MEA faisaient référence dans les débats internationaux. Ils avaient été construits pour questionner le futur des écosystèmes et leurs principes de construction n'étaient pas forcément les plus pertinents pour débattre du futur des systèmes agricoles et alimentaires. Mais, justement, confronter les deux types de questionnement, l'un relatif aux écosystèmes et l'autre relatif aux activités humaines qui ont le plus d'impact sur les écosystèmes, était intéressant. D'ailleurs, bien que cet objectif n'ait pas pu aboutir, les scénarios du MEA devaient servir de base à la construction de scénarios dans le cadre de l'exercice IAASTD (*International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development*). Le groupe de travail Agrimonde a donc souhaité conduire une analyse poussée des scénarios du MEA, en les traduisant, grâce à la plateforme Agrimonde, en scénarios agricoles et alimentaires.

Par ailleurs, les scénarios du MEA étant exploratoires, c'est-à-dire explorant les conséquences d'inflexion de tendances à partir de la situation présente, certains experts, y compris parmi ceux qui étaient impliqués dans le MEA, regrettaient l'absence d'un scénario normatif, souhaitable en matière de devenir des écosystèmes. En outre, Michel Griffon proposait dans son ouvrage de 2006 *Nourrir la planète* un scénario décrivant un système agricole et alimentaire recherchant toutes les caractéristiques de la durabilité, explorant le potentiel et les conditions d'une « révolution doublement verte » [Griffon, 2006]. Ce scénario s'interroge ainsi sur les technologies de production agricole susceptibles à la fois de préserver les écosystèmes et de permettre le développement par l'agriculture dans les pays pour lesquels le manque de capitaux limite la mise en œuvre de systèmes productifs intensifs en équipement et en intrants. Le groupe de travail a donc voulu construire un scénario souhaitable, en s'inspirant de façon libre du scénario de Michel Griffon. Il ne s'agissait pas de reconstruire ce scénario mais plutôt d'en construire un nouveau à partir de la même question de départ (quelles sont les technologies de production durables à la fois en termes environnementaux et de réduction de la pauvreté par le développement agricole ?) et en explorant non seulement les inflexions envisageables du côté de l'offre agricole mais aussi du côté de la demande de produits agricoles alimentaires et non alimentaires.

Ainsi, Agrimonde 1 est un scénario normatif, dans le sens où il envisage une situation en 2050 notablement différente de celle d'aujourd'hui et qu'il interroge la possibilité d'identifier un chemin de développement qui y mène (cf. encadré 1). Il est construit en référence aux scénarios du MEA et de Michel Griffon. Il s'agit d'un scénario de rupture avec les scénarios du MEA et avec les principales tendances aujourd'hui à l'œuvre. Son intérêt n'est cependant pas prescriptif mais heuristique. Il suppose qu'en 2050, le monde aura su mettre en œuvre un système agricole et alimentaire durable, pour mieux comprendre le sens d'un tel développement, les dilemmes et les principaux défis qu'un tel scénario porte, au travers des inflexions et ruptures qu'il suppose.

Encadré 1 : Les différents types de scénarios en prospective

Les scénarios peuvent être distingués en fonction du positionnement du concepteur du scénario par rapport au temps. Le *scénario exploratoire* est ainsi construit par extrapolation des tendances passées et présentes (on part du passé pour imaginer le futur) tandis que le *scénario normatif ou d'anticipation* est construit de façon rétroprojective, c'est-à-dire en partant d'une vision souhaitée ou au contraire redoutée du futur pour remonter vers le présent. Les scénarios peuvent également être distingués en fonction de la nature des hypothèses de départ faites sur l'évolution des variables clés. Le *scénario tendanciel* correspond ainsi à une hypothèse globale de prolongement des tendances à l'œuvre et des dynamiques récemment enclenchées (« au fil de l'eau ») tandis que le *scénario contrasté* renvoie à la notion de rupture par rapport au présent.

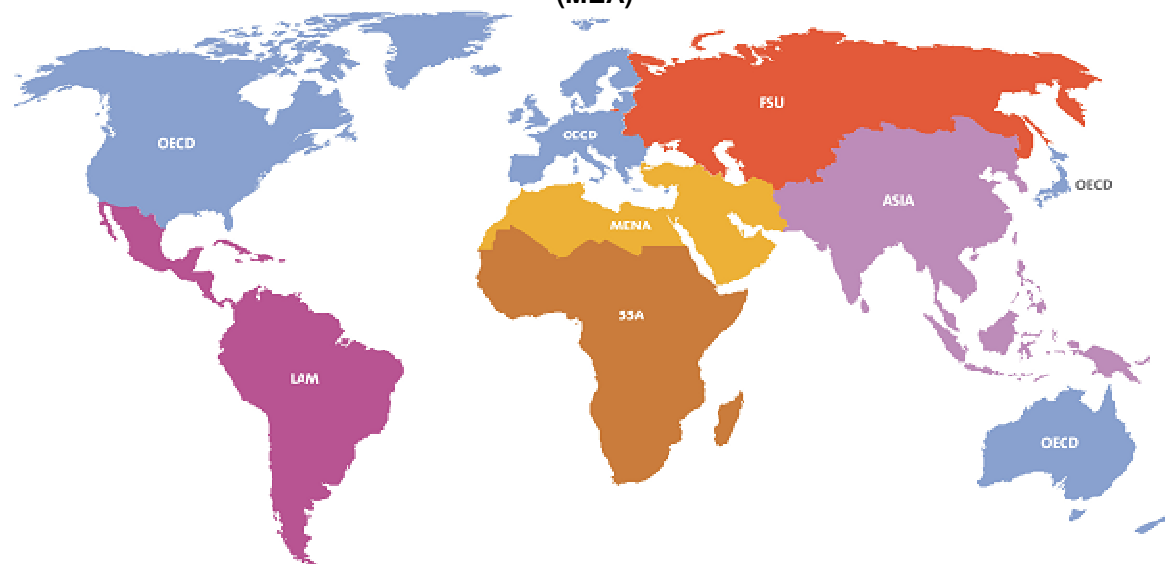
Source : Commissariat général du Plan, 2004

Concrètement, les scénarios du MEA et de Michel Griffon ont constitué une base de référence et de comparaison dans l'élaboration des hypothèses d'Agrimonde 1. De plus, le groupe de travail a choisi de 'reconstruire' de façon complète un scénario du MEA, *Global Orchestration*, afin de

pouvoir comparer Agrimonde 1 à un scénario plus tendanciel en matière de consommation alimentaire et différent dans les priorités sociétales qu'il sous-tend. *Global Orchestration* est en effet le scénario du MEA où la réduction de la pauvreté et de la malnutrition qui en découle est la plus forte. Celle-ci repose à la fois sur la libéralisation des échanges et des progrès techniques majeurs en matière de rendements agricoles. La priorité donnée au développement économique se solde néanmoins dans ce scénario par une gestion réactive des écosystèmes et des problèmes environnementaux. Ce scénario est ici appelé « Agrimonde GO », non seulement parce qu'il est reconstruit sur la base de la méthode de quantification adoptée dans Agrimonde mais aussi car les hypothèses de population retenues pour ce scénario ne sont pas celles envisagées dans le MEA. En effet, pour réellement confronter le scénario Agrimonde 1 à un autre scénario, il a semblé important au groupe de travail de faire les mêmes hypothèses de 'pression démographique' dans les deux scénarios.

Il est à noter que le choix de construction d'un scénario en référence à ceux du MEA ou de Michel Griffon a conduit le groupe de travail à retenir le même horizon temporel, à savoir 2050, et le même découpage géographique en six grandes régions : Amérique latine, OCDE-1990, Ex-URSS, Afrique du Nord – Moyen Orient, Asie et Afrique subsaharienne (cf. figure n°1).

Figure 1 : Les régions du Millennium Ecosystem Assessment (MEA)



Source : D'après Carpenter et al.: Millennium Ecosystem Assessment, (Volume 2, Appendix A), Island Press, Washington, 2005.

I.1.2 Une plateforme d'animation prospective pour faciliter la réflexion sur une question complexe

Agrimonde repose sur l'animation d'un collectif d'experts et un module quantitatif (ce dernier, Agribiom, est présenté dans le chapitre I.2). L'animation du collectif vise la confrontation d'expertises diverses et la construction collective de scénarios sur la base de synthèses bibliographiques (littérature académique mais aussi littérature grise, notamment prospective) et des données et simulations issues du module quantitatif. L'animation du collectif, les synthèses bibliographiques et le module quantitatif sont pris en charge par l'équipe projet. Si pendant les deux premières années du projet, le collectif d'experts est resté le même (il est dénommé groupe de travail dans le présent rapport de présentation des travaux 2006-2008 d'Agrimonde), Agrimonde est conçu pour permettre l'animation de la réflexion de collectifs divers, porteurs de visions pour l'avenir des systèmes agricoles et alimentaires dans le monde.

La plateforme Agrimonde est conçue pour animer la réflexion collective autour des enjeux relatifs au système agricole et alimentaire mondial, qui peuvent se résumer au défi central que représente

l'objectif de nourrir correctement une population de neuf milliards d'individus en 2050 tout en préservant les écosystèmes, desquels d'autres services sont aussi attendus : bioénergies, biodiversité, stockage de carbone, régulation climatique... Les variables à considérer, quand on analyse ces questions, sont extrêmement diverses et nombreuses : elles sont de natures géopolitique, sociale, culturelle, sanitaire, économique, agronomique, écologique, technologique, etc. En outre, l'échelle planétaire à laquelle cette question se pose ne dispense pas d'une réflexion au niveau régional tant la diversité des alimentations et des agricultures du monde et leurs interactions au travers des échanges sont des variables clés pour l'avenir.

Etant donné le nombre et la diversité des variables et l'importance de l'articulation des échelles régionale et mondiale, la méthode classique de construction de scénarios s'avérait peu appropriée⁴. En effet, il n'est guère envisageable de combiner les hypothèses sur l'ensemble des variables motrices pour le futur du système étudié et ce aux échelles régionale et mondiale, ce qui rendrait l'exercice à la fois peu praticable et peu lisible. Nous avons donc adapté la méthode des scénarios en construisant une plateforme reposant essentiellement sur la complémentarité d'analyses quantitatives et qualitatives. La formulation de jeux d'hypothèses quantitatives, au niveau régional, sur un nombre restreint de variables (celles qui sont disponibles grâce au module quantitatif Agribiom (cf. chapitre I.2), a permis de réduire la complexité tout en fournissant un point d'entrée à une réflexion qualitative poussée envisageant l'ensemble des dimensions du système. Au-delà de ce point d'entrée, l'importance des dimensions qualitatives à explorer pour la construction des scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO ont conduit les experts du groupe de travail à une analyse morphologique du système Agrimonde, c'est-à-dire une décomposition en dimensions et variables à partir de l'identification et du regroupement thématique de l'ensemble des facteurs qui seront moteurs dans la transformation des systèmes agricoles et alimentaires à l'horizon 2050 (cf. tableau 1). Cette grille est un outil important pour tester et construire la cohérence des scénarios.

De la construction des hypothèses quantitatives...

A partir des variables Agribiom et de leur analyse rétrospective, le collectif ou groupe de travail est chargé de construire et d'analyser des scénarios sur la base de la formulation d'hypothèses quantitatives à un horizon temporel donné sur les ressources et emplois de produits agricoles dans les différentes régions qui composent le monde. Le découpage géographique pour la formulation de ces hypothèses peut être adapté aux objectifs poursuivis par le groupe de travail ; dans le cadre de la construction d'Agrimonde 1 et d'Agrimonde GO, le zonage géographique du MEA a été retenu.

Les hypothèses sur l'emploi des biomasses au niveau régional concernent avant tout les populations humaines, leurs régimes alimentaires, et la composition de ces régimes selon l'origine des calories (végétale, animale terrestre, aquatique). Pour les ressources, des hypothèses sont faites, au niveau régional, essentiellement sur l'occupation des terres (cultures, pâtures, forêts...), la productivité en calories végétales des espaces cultivés, et la conversion des calories végétales en calories animales.

Une fois ce jeu d'hypothèses construit par le groupe de travail, la simulation et l'analyse des bilans ressources - emplois (équilibrés ou déséquilibrés) dans chaque région et à l'échelle mondiale, avant et après échanges envisagés entre régions, constitue un premier test de cohérence. Ce test de cohérence quantitatif, discuté par le groupe de travail, peut amener, quand il n'y a pas d'équilibre global, à ajuster un certain nombre d'hypothèses quantitatives pour aboutir à cet équilibre (cf. chapitre II.4 pour approfondissement).

... à la construction de scénarios

La complémentarité des analyses quantitatives et qualitatives se joue tout au long du processus de construction des hypothèses quantitatives. En effet, leur formulation et leur discussion permettent de poser les questions relatives :

⁴ La méthode classique des scénarios repose sur une première étape de recension la plus exhaustive possible des variables susceptibles d'influencer l'avenir du système étudié à l'horizon temporel retenu pour la prospective. Faire ce travail de recension pour un système aussi vaste que les agricultures et alimentations du monde, aux niveaux régional et mondial s'avère difficilement praticable. Pour des précisions sur la méthode classique des scénarios, voir par exemple [De Jouvenel, 1999].

1) aux interactions entre les différentes variables considérées ; par exemple, quelles sont les implications d'une hypothèse de hausse importante de la consommation de produits animaux en Asie sur les surfaces agricoles et les échanges ? Quels sont les rendements qui permettraient de tendre vers l'autosuffisance alimentaire en Afrique subsaharienne sans détruire la forêt primaire ?

2) aux conditions politiques, technologiques, institutionnelles et culturelles... permettant d'atteindre l'hypothèse quantitative formulée ; par exemple, quels sont les changements technologiques, sociaux et institutionnels qui permettraient d'augmenter les rendements en Afrique subsaharienne sans mettre en danger les écosystèmes et sans engendrer un exode massif des populations rurales ?

En imaginant des hypothèses sur les régimes alimentaires, les usages des surfaces, les rendements ou les échanges entre régions, les experts sont amenés à en analyser toutes les implications, à en « tirer tous les fils » et à enrichir des hypothèses de base quantitatives par un ensemble d'hypothèses qualitatives sur les variables du système Agrimonde identifiées dans l'analyse morphologique (cf. tableau 1) qui vont permettre de construire des scénarios complets. Ainsi, outre le test de cohérence quantitatif sur le bilan ressources - emplois de biomasses, d'autres tests de cohérence plus qualitatifs sont réalisés pour que l'ensemble des dimensions considérées fasse système, tant à l'échelle régionale que mondiale.

Une plateforme qui repose sur un module quantitatif...

Le processus de réflexion prospective proposé au travers d'Agrimonde repose donc de façon déterminante sur un module quantitatif, Agribiom, qui remplit deux fonctions :

1. Il regroupe des données rétrospectives (pour l'essentiel issues de traitement de données FAO) pour l'ensemble des variables quantitatives sur lesquelles les experts sont invités à formuler des hypothèses chiffrées pour le futur et l'ensemble des pays du monde (qu'Agribiom permet de regrouper en fonction du zonage retenu) ; les experts peuvent ainsi fonder leur réflexion prospective sur des séries historiques relativement longues (1961-2003).
2. Le module quantitatif permet d'élaborer en temps réel, au cours des discussions du collectif de travail, les bilans ressources - emplois de chaque jeu d'hypothèses quantitatives envisagé (bilans ressources - emplois à l'échelle mondiale et aux échelles régionales envisagées) puisque celui-ci calcule, à partir des hypothèses sur les ressources et emplois au niveau régional, les excédents et déficits régionaux et globaux.

... et sur une exploration systématique des inflexions et ruptures des tendances

La réflexion prospective se fonde non seulement sur des analyses rétrospectives et donc sur les tendances passées mais aussi sur l'exploration des possibilités de rupture des tendances à l'œuvre. A cette fin, le groupe de travail analyse et discute des travaux académiques ou prospectifs permettant d'envisager des futurs contrastés. Ainsi, par exemple, pour formuler des hypothèses sur l'évolution des régimes alimentaires, le groupe de travail dispose non seulement de l'évolution de ceux-ci des années 1960 à nos jours mais aussi des travaux de recherche sur les déterminants des régimes alimentaires et de leurs dynamiques et de divers travaux prospectifs traitant des transformations à venir des régimes alimentaires, que ce soit au niveau régional ou au niveau global. Il en va de même pour les populations, les rendements, les surfaces...

Tableau 1 : Dimensions et variables du système Agrimonde

I – CONTEXTE MONDIAL	
Population	
Urbanisation et exode rural	
Croissance économique	
Prix agricoles	
Répartition des revenus	
Energie	
Climat	
Relations politiques internationales	
Rythme du progrès technique	
II – REGULATIONS INTERNATIONALES	
Organisation du commerce international	
Accords internationaux sur le climat	
Accords internationaux sur la biodiversité	
Gouvernance et gestion des risques sanitaires	
Gouvernance et gestion des ressources marines	
Transfert de capitaux Nord - Sud	
III – DYNAMIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE	
Surfaces de production	
Investissements dans la production agricole (au niveau des exploitations)	
Investissements dans les infrastructures et biens publics	
Formes sociales de production	
Techniques de production	
Transformation : organisation et technologies de production	
IV – DYNAMIQUES DE LA CONSOMMATION DE BIOMASSE	
Consommation d'énergie issue de la biomasse	
Consommation industrielle de biomasse	
Pratiques de consommation et régimes alimentaires	
Sensibilité de la société aux questions sanitaires	
Sensibilité de la société aux questions environnementales	
V–STRATEGIES DES ACTEURS	
Stratégies des Etats	Politiques agricoles
	Politiques sanitaires et nutritionnelles
	Politiques énergétiques
	Politiques environnementales
Stratégies des acteurs privés	Rôle des organisations professionnelles agricoles
	Stratégies des FMN
	Rôle des ONG
VI – CONNAISSANCES ET TECHNOLOGIES DANS LE CHAMP DE L’AGRICULTURE ET DE L’ALIMENTATION	
Investissements dans la R&D publique et privée	
Objectif des innovations	
Statut du vivant dans les droits de propriété intellectuelle	
Orientations de la recherche agronomique	
Formation des agriculteurs	
Lieux et acteurs de l'innovation et de sa diffusion	
VII – DEVELOPPEMENT DURABLE	
Conservation de la biodiversité	
Emission de gaz à effet de serre	
Fertilité des sols	
Eau (disponibilité et qualité)	
Equité sociale	Satisfaction des besoins essentiels (alimentation, santé, emploi, éducation)
	Qualité de vie : lieux de vie, culture, relations sociales

La figure 2 résume les étapes de la réflexion prospective dans la plateforme Agrimonde. Le groupe de travail commence par choisir les scénarios à construire et leur principes de construction, c'est-à-dire les traits saillants des scénarios (souhaitons-nous construire un scénario qui serait tendanciel du point de vue des consommations alimentaires, ou bien au contraire en rupture ? Souhaitons-nous construire un scénario caractérisé par une crise énergétique ?...). Sur cette base, le groupe de travail procède à la construction des hypothèses quantitatives en donnant une valeur à chacune des variables quantitatives à l'horizon temporel retenu et pour chacune des zones régionales. Ces variables permettent de calculer pour chaque zone et pour le monde les ressources agricoles et leurs emplois. Pour cette construction, le groupe de travail se fonde sur une revue de la littérature prospective mais aussi sur les tendances passées puisque les variables en question sont renseignées pour les années passées dans le module Agribiom. Une fois les hypothèses quantitatives formulées, le module Agribiom permet de tester si les bilans ressources – emplois sont excédentaires ou déficitaires dans chaque zone et au niveau mondial, ceci en incluant les quantités de biomasses nécessaires pour produire les productions alimentaires animales.

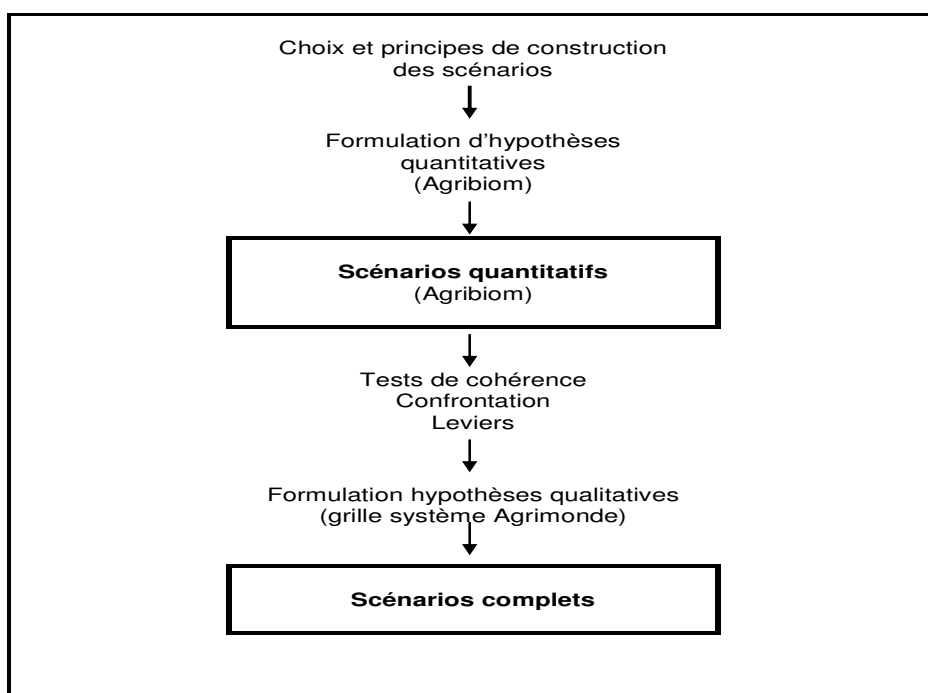
Les ensembles formés par les hypothèses quantitatives et les bilans ressources – emplois correspondant forment les scénarios quantitatifs. Ceux-ci sont discutés par le groupe de travail pour les compléter par des hypothèses qualitatives. A cette fin, les scénarios quantitatifs sont analysés pour chaque région et au niveau mondial selon trois types de questionnement :

1. Le scénario quantitatif pour telle région est-il cohérent avec les principes de construction posés au départ pour ce scénario ? Quelles hypothèses qualitatives faut-il faire pour qu'il le soit ?
2. Que nous apprend la confrontation des différents scénarios ? Sont-ils bien contrastés ? Quelles hypothèses qualitatives faut-il faire pour qu'ils racontent des histoires bien distinctes ?
3. Quels sont les principaux enjeux de ce scénario ? Quel levier faudrait-il actionner pour qu'il se réalise ? quelles hypothèses qualitatives faut-il faire pour intégrer ces leviers au scénario ?

Cette analyse permet de faire des hypothèses qualitatives sur chacune des variables du système Agrimonde (cf. tableau 1) et d'aboutir à des scénarios complets.

Il est à noter que le module Agribiom tout comme la grille du système Agrimonde sont évolutifs ; les réflexions du groupe de travail permettent de les adapter et de les améliorer.

Figure 2 : La plateforme Agrimonde 1



I.1.3 Positionnement d'Agrimonde par rapport aux autres approches prospectives des équilibres alimentaires mondiaux

En se fixant comme objectif d'explorer l'avenir à long terme des systèmes agricoles et alimentaires mondiaux, la plateforme Agrimonde développe des choix méthodologiques complémentaires d'un certain nombre d'approches déjà existantes, notamment de modélisations intégrées. Les scénarios construits avec la plateforme Agrimonde peuvent être replacés d'un point de vue méthodologique dans le contexte de plusieurs types de travaux.

- Depuis la création de la FAO, des exercices d'anticipation des possibilités d'accroissement de la production mondiale face à la croissance démographique ont été menés, et ont conduit à un débat international sur les bilans entre emplois et ressources à l'échelle mondiale ; la construction des scénarios Agrimonde contribue à apporter des visions et des scénarios complémentaires dans ce débat.
- Au cœur de ce débat mondial, des modélisations économiques à long terme ont été développées, notamment à l'IFPRI⁵, et elles sont notamment mobilisées dans des exercices de modélisation intégrée pour des scénarios mondiaux. Il existe un ensemble d'exercices de scénarios mondiaux sur les ressources naturelles et la mondialisation, développés sur le modèle du Groupe intergouvernemental d'étude de l'évolution du climat [GIEC, 2000], et qui forment aujourd'hui une famille d'exercices de référence (*World Water Vision* [Cosgrove et Rijsberman, 2000], *Millennium Ecosystem Assessment* [Carpenter et al., 2005], *Global environmental outlook* [PNUE, 2007]...) ; la plateforme Agrimonde peut contribuer à la discussion de ces scénarios de référence, notamment par la proposition de scénarios non encore explorés.

Un ensemble de scénarios quantifiés sur l'avenir de l'agriculture et sur les équilibres alimentaires mondiaux à long terme

La comparaison entre le potentiel de production de biomasse et les besoins futurs de biomasse alimentaire liés à la croissance démographique constitue une question ancienne mais fondamentale pour la réflexion sur l'avenir de l'agriculture. La question malthusienne initiale qui confronte une croissance exponentielle des besoins alimentaires à une croissance seulement linéaire des rendements agricoles a été largement complexifiée par des analyses approfondies, notamment en ce qui concerne les capacités de production agricole, et le rôle qu'y joue le progrès technique.

Un passage en revue de ces travaux a été effectué par la FAO et l'IFPRI et met en évidence deux types d'approches [Mc Calla et al., 2001] :

- un certain nombre de travaux développent des approches, qualifiées de néo-malthusiennes dans cette bibliographie, qui mettent en évidence que les limites des ressources naturelles disponibles pourraient à moyen ou long terme poser problème face à la croissance de la demande (depuis le rapport Meadows au Club de Rome en 1972 [Meadows et al., 1972], jusqu'à des travaux plus récents de Lester Brown, [Brown 1995]) ;
- depuis sa création, la FAO est au cœur de ce débat et cherche à produire les anticipations les plus raisonnables et rigoureuses possibles du potentiel futur de production agricole. Des projections tendanciennes, appuyées sur des séries de données passées, sont régulièrement mises à jour pour anticiper les évolutions à 15-20 ans du potentiel agricole [FAO, 2002]. Ces travaux sont complétés par des exercices visant à mettre en lumière un potentiel maximal de production de biomasse en agriculture (ces exercices prennent le nom par exemple de Wageningen Limits of Food Production [Luyten, 1995]), que l'on doit chercher à atteindre en levant des obstacles d'ordre technique ou socio-économiques [Koning et al, 2008]. Ces travaux visent plutôt à mettre en évidence quelles sont les contraintes à lever pour poursuivre l'augmentation de la production agricole.

Dans ce débat, deux exercices ont été déterminants pour la conception des deux premiers scénarios d'Agrimonde : l'exercice de P. Collomb [Collomb, 1999] et celui de M. Griffon [Griffon, 2006]. Dans les deux cas, l'accent est mis non seulement sur la couverture mondiale des besoins

⁵ International Food Policy Research Institute, centre de recherche international sur les questions de politiques alimentaires internationales.

par les ressources, mais aussi sur la capacité régionale à couvrir les besoins régionaux. Ils visent notamment à explorer les réservoirs de production qui peuvent être mis en regard d'une augmentation des besoins alimentaires moyens dans toutes les régions du monde, pour atteindre dans chacune des régions une consommation alimentaire moyenne minimale.

La plateforme Agrimonde se situe dans la lignée de ces exercices qui traitent des données agrégées par grandes régions du monde, et dont l'apport consiste à tirer des enseignements d'une évaluation double :

- de l'équilibre mondial entre emplois et ressources,
- de l'équilibre entre emplois et ressources par grandes régions.

Par rapport à ces travaux, le module quantitatif Agribiom présente divers intérêts, notamment :

- la prise en compte de la totalité des biomasses alimentaires,
- l'utilisation d'unités (calories, protéines...) permettant des agrégations, modélisations et simulations inhabituelles des productions, échanges et usages de biomasses alimentaires,
- un traitement novateur et robuste de la conversion de biomasses végétales en biomasses alimentaires animales.

La conception d'ensemble de la plateforme Agrimonde permet la formulation de scénarios nouveaux, plus ou moins tendanciels ou plus ou moins en rupture, de manière transparente et facilement reproductible.

Cependant, les évaluations quantitatives d'Agribiom ne permettent nullement d'accéder à la complexité territoriale des systèmes de production agricole dans les différentes régions du monde, qu'il s'agisse de leur complexité technique, mais aussi organisationnelle et socio-économique. Les ordres de grandeur et les formulations qualitatives agrégées proposées par la plateforme Agrimonde à l'échelle de grandes régions peuvent cependant donner lieu à des analyses plus ciblées sur un pays particulier : quelle est la situation de couverture des besoins de ce pays dans tel ou tel scénario ? La situation particulière de ce pays met-elle en évidence des questions spécifiques qui pousseraient à explorer un nouveau scénario que les ordres de grandeur mondiaux n'auraient pas conduits à envisager ? La plateforme Agrimonde peut donc être considérée comme un outil de dialogue et d'interface entre les réflexions en grands ordres de grandeur mondiaux et les réflexions sur l'avenir de l'agriculture à des échelles plus territorialisées.

Il importe également de noter que ces évaluations d'ordre de grandeur du potentiel de production, mis en regard des besoins futurs, n'ont pas l'ambition de représenter l'ensemble des enjeux en matière d'agriculture et d'alimentation, et un nombre important de dimensions qualitatives doivent être abordées, ce que la plateforme Agrimonde vise à rendre possible. Ces questions ne sont pas réduites à la seule dimension d'un potentiel biophysique de production de biomasse. Par exemple, les structures des systèmes d'exploitation agricole, et notamment leur structure économique, sont au cœur du débat. Il est bien évident que les évaluations d'ordre de grandeur qui sont discutées dans les travaux de bilan agrégés entre productions et usages visent essentiellement à donner des éclairages globaux pour la conception des politiques agricoles, dont ils reconnaissent donc l'importance et la nécessité. Par ailleurs, ces travaux tiennent compte du fait que la question de la réduction de la faim et de la malnutrition dans le monde n'est plus une question de rareté absolue, mais constitue une des dimensions du problème de la lutte contre la pauvreté. L'évaluation du potentiel d'augmentation de la production vise bien dans ce cadre à évaluer la capacité des systèmes agricoles à participer à cet effort de réduction de la pauvreté [Banque Mondiale, 2008].

Une généalogie de scénarios mondiaux et de modélisations intégrées sur les ressources naturelles

Depuis les quatre familles de scénarios du GIEC, en passant par les scénarios de la *World Water Vision*, du *Global Environment Outlook*, et jusqu'aux scénarios du *Millennium Ecosystem Assessment*, une famille de scénarios mondiaux de référence est en train d'émerger, construits les uns par rapport aux autres et avec les mêmes outils de modélisation intégrée (modèles IMAGE⁶ du MNP⁷ et du RIVM⁸, IMPACT⁹ de l'IFPRI, WaterGAP¹⁰ du CESR¹¹ de Kassel). Ces scénarios présentent la

⁶ IMAGE est un modèle intégré permettant de représenter les conséquences environnementales des activités humaines à l'échelle mondiale. Il a été développé aux Pays Bas par le RIVM (maintenant MNP), et est au centre des modélisations intégrées utilisées par le GIEC, mais aussi pour le Millennium Ecosystem Assessment.

⁷ MNP : Milieu en Natuur Planningbureau, Agence néerlandaise d'évaluation environnementale.

qualité principale de permettre d'intégrer et d'articuler des projections de scénarios socio-économiques d'émissions de gaz à effet de serre et leur traduction en impacts sur les changements climatiques, avec des modélisations des conséquences de ces impacts sur les ressources et les activités envisagées, par exemple l'agriculture. Le modèle IMPACT de l'IFPRI est un modèle d'équilibre sur les marchés agricoles pour un ensemble de produits clés, permettant de simuler à long terme (2025, 2050), les équilibres et les prix sur les marchés agricoles, et de tenir compte des substitutions possibles, selon un certain nombre d'hypothèses sur les capacités de production, issues des travaux de projection de la FAO le plus souvent [Rosegrant et al., 2001]. Le modèle IMAGE développé par le MNP (RIVM), développe de son côté des représentations des changements d'occupation des sols.

Avec ces scénarios de référence, on cherche à explorer essentiellement quatre images possibles contrastées de ce que pourraient être les états futurs socio-économiques et géopolitiques du monde en 2050. Ces états futurs sont contrastés selon deux axes de différenciation : d'un côté des mondes où l'économie est mondialisée, de l'autre des mondes où l'économie est régionalisée. Dans chacun de ces deux cas, une deuxième subdivision selon que la question environnementale est prise en compte en amont des problèmes, de manière préventive, ou seulement en aval des crises environnementales, de manière curative.

Ces quatre grandes esquisses du monde sont ensuite traduites en paramètres d'entrée des modèles intégrés grâce à une interface assurant la cohérence des grandes hypothèses macro-économiques. Les modèles permettent ensuite de simuler des états de l'utilisation des ressources et des écosystèmes dans le monde. Cette approche présentée sous la dénomination de « *story and simulation* » [Agence Européenne de l'Environnement, 2001] consiste donc à allier l'élaboration de scénarios qualitatifs à l'amont et modélisations intégrées à l'aval pour décrire des mondes possibles.

Ces approches de modélisations prospectives intégrées devraient permettre de proposer facilement des scénarios différents des quatre grandes familles de référence, pour explorer des questions spécifiques à un champ particulier, et par exemple le champ de l'agriculture. Mais il apparaît nécessaire de pouvoir continuer à comparer entre eux les résultats de ces grands exercices mondiaux, et de stabiliser ces scénarios de référence pour avoir le temps de faire travailler sur ces hypothèses toute l'architecture très complexe de modélisation intégrée rassemblant un nombre important de modèles. Cela conduit à faire généralement le choix de s'en tenir à ces quatre familles de référence, censées être représentatives de la multiplicité des futurs possibles pour la planète.

Or, dans le cadre de l'IAASTD, il est apparu que ces quatre familles de référence ne permettaient pas de bien mettre en valeur les interrogations principales des acteurs du monde de la recherche agronomique internationale sur l'avenir des systèmes agricoles et alimentaires.

La plateforme Agrimonde constitue une tentative méthodologique complémentaire de ces exercices de modélisations prospectives intégrées, en s'appuyant sur un appareillage de modélisation beaucoup plus simple permettant d'explorer plus rapidement la cohérence en ordres de grandeur des hypothèses quantitatives formulées dans les scénarios, et en invitant à centrer une part importante du travail sur la discussion de l'ensemble des hypothèses qualitatives et sur leur cohérence. Cette démarche doit ainsi permettre la formulation de scénarios alternatifs par rapport aux scénarios de référence, pour explorer des trajectoires de développement qui ne sont pour l'instant pas représentées dans les quatre grandes familles de scénarios utilisées en amont des modélisations intégrées. Ainsi, la plateforme Agrimonde devrait permettre d'interroger différemment ces scénarios de référence, et également de tester les conditions de faisabilité de trajectoires de développement qui n'entrent pas facilement dans une des quatre familles actuellement au cœur du débat. En ce sens, la plateforme Agrimonde vise à fournir une plus grande capacité de génération de scénarios cohérents, avant qu'ils puissent faire l'objet d'autres modélisations notamment en termes économiques.

⁸ RIVM : Rijks Instituut voor Volksgezondheid en Milieu, l'Institut national néerlandais pour la santé publique et l'environnement

⁹ Le modèle IMPACT (International Model for Policy Analysis of Agricultural Commodities and Trade) est un modèle d'équilibre sur les marchés agricoles (voir plus bas). Ce modèle a été utilisé pour les rapports du GIEC, de la World Water Vision en 2000, et du Millennium Ecosystem Assessment, ainsi que dans l'exercice IAASTD (International assessment of agriculture science and technology for development).

¹⁰ Le modèle WaterGAP permet de représenter l'impact de scénarios socio-économiques en termes de demandes en eau et donc de pression sur les ressources en eau par grands bassins versants à l'échelle de la planète. Il a été utilisé dans le cadre de la World Water Vision, puis pour le Millennium Ecosystem Assessment, notamment.

¹¹ CESR : Centre for Environmental Studies and Research, Université de Kassel.

La plateforme Agrimonde vise également à être suffisamment simple pour que des acteurs émergents dans le débat international sur l'avenir des systèmes agricoles et alimentaires puissent proposer à la discussion de manière structurée, par le module quantitatif et les discussions qualitatives associées, des scénarios d'avenir encore peu envisagés jusqu'à présent. En effet, les modélisations prospectives intégrées ne peuvent pas se permettre de le faire à moins de substituer ces nouveaux scénarios aux scénarios de référence pour l'ensemble des questions qu'ils cherchent à traiter.

I.2 Agribiom : un module quantitatif rétro-prospectif

Bruno Dorin, Tristan Le Cotty

Agribiom est une plateforme quantitative consacrée à l'analyse des productions, échanges et usages mondiaux de biomasses. Sa construction a débuté en 2006 au CIRAD pour servir des exercices collectifs de prospective tels qu'Agrimonde, ainsi que des travaux de modélisation hybride intégrée¹².

L'équilibre physique (passé ou futur) entre ressources et emplois de biomasses alimentaires constitue, pour l'heure, le cœur et le moteur d'Agribiom. De tels équilibres peuvent désormais être reconstitués (des années 1960 à nos jours) ou simulés à diverses échelles géographiques (d'un pays à l'ensemble du monde) selon des unités de volume, des structures de bilan et des catégories de produits qui ont été imaginées pour :

- (i) disposer d'un outil d'analyses rétrospectives et de simulations prospectives suffisamment simple, englobant, robuste et transparent pour interpeler et faire dialoguer une large variété d'expertises autour des questions de productions, d'échanges et de consommations de biomasses à l'échelle mondiale ;
- (ii) fédérer et générer un ensemble de données permettant de développer des analyses et modélisations nouvelles, notamment dans des domaines et à des échelles où l'information statistique et la modélisation souffrent d'insuffisances (par exemple : conversion des biomasses végétales en biomasses animales aux échelles nationales) ;
- (iii) caractériser des grands modes de production et consommation des biomasses alimentaires, et relier la spécificité de ces modes (observés ou simulés) à des données, modélisations ou débats relatifs à la sécurité alimentaire, à la pauvreté, aux demandes de produits agricoles non alimentaires (biocarburants, biomatériaux...), au développement et échanges économiques entre nations, aux prélèvements et prix de ressources minières ou naturelles, à l'émission/stockage de gaz à effet de serre, à la préservation des services rendus par les écosystèmes, etc.

Pour remplir ces fonctions, Agribiom est structuré en quatre chantiers :

- (1) réunir, vérifier et relier, sur plusieurs décennies passées, des millions de données relatives aux productions, échanges et usages nationaux de produits agricoles et alimentaires ;
- (2) élaborer, avec ces données de base, de nouvelles séries de données permettant des observations et modélisations nouvelles ;
- (3) construire une interface permettant d'exposer à un public varié (chercheurs, experts, responsables politiques...) ces données et ces modèles, pour les discuter, puis simuler et débattre des scénarios d'équilibre emplois/ressources de biomasses alimentaires ;
- (4) interagir avec d'autres travaux quantitatifs, notamment des modèles d'équilibre général calculable et des modèles biophysiques.

La suite de ce chapitre s'attache à décrire l'état d'avancement fin 2008 des trois premiers chantiers (cf. section I.2.1 « Données, structure et principes d'Agribiom »), puis des résultats obtenus avec lui en rétrospectif (cf. section I.2.2 « Rétrospective 1961-2003 »), les résultats de simulations effectuées pour Agrimonde étant exposés, avec leurs hypothèses et interprétations, dans d'autres parties et sections de ce rapport.

¹² Notamment ceux conduits avec le CIRED (Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement) en coopération avec le CFE (Conseil Français de l'Energie) sur le thème « Compétition énergie-alimentation dans l'usage des sols ».

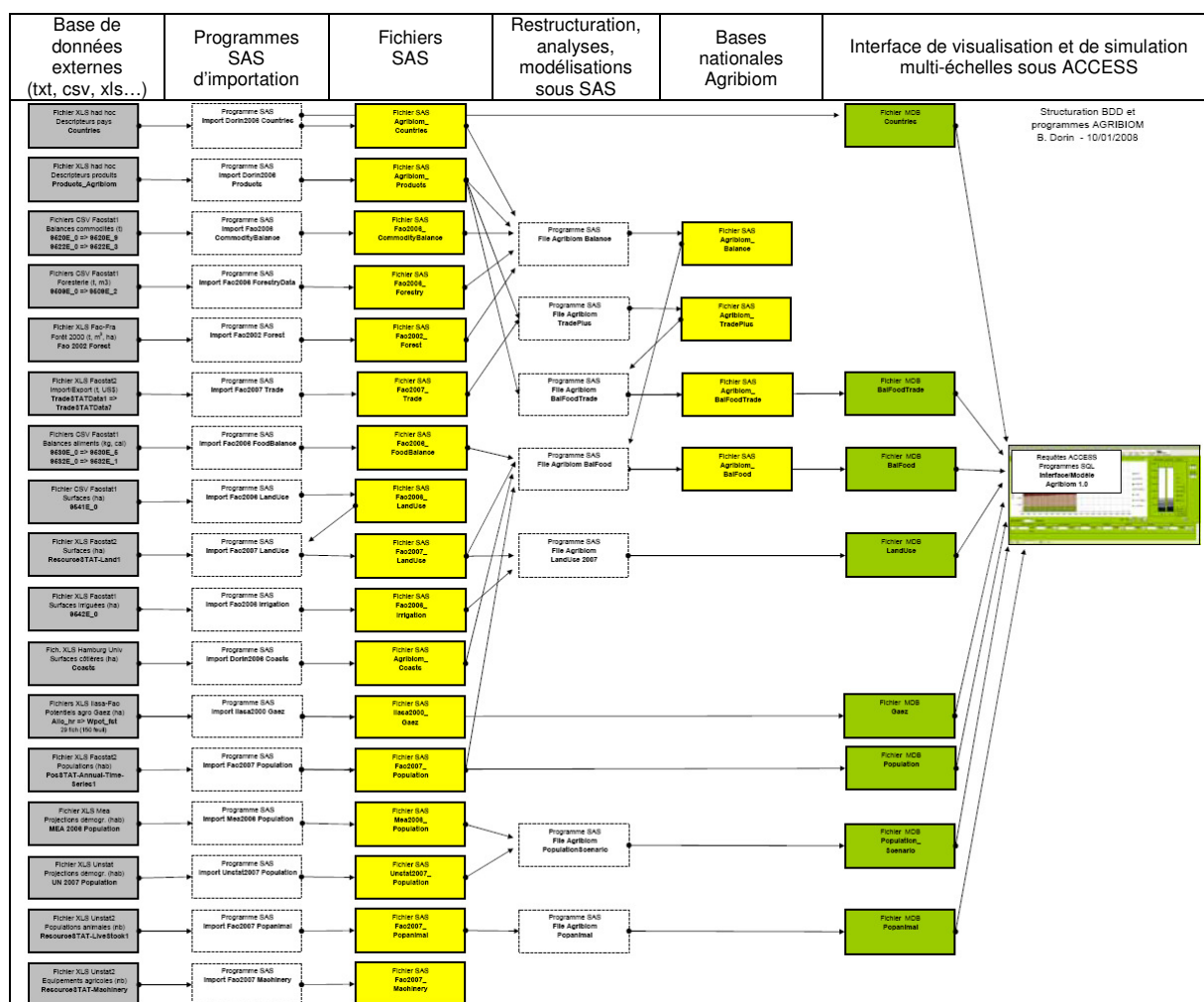
I.2.1 Données, structure et principes d'Agribiom

I.2.1.1 Organisation générale des traitements

Pour remplir les objectifs poursuivis en termes de rétrospectives historiques, de production de nouvelles séries statistiques, de modélisations, de simulations d'équilibres physiques ressources-emplois de biomasses, de communication avec divers expertises ou modèles, Agribiom s'alimente en amont d'un grand nombre de données historiques (plus de 30 millions de valeurs non redondantes courant 2008). La chaîne de traitement de cette masse d'informations est symbolisée en figure 3. Elle mobilise les logiciels SAS® et Microsoft Access® pour permettre :

- une traçabilité des opérations et calculs mis en œuvre grâce à un agencement de programmes SAS entre des fichiers de données brutes aux structures et formats variables (xls, csv, txt...) et les bases et modèles élaborés pour l'exercice ;
- la convergence de ces bases et modèles vers une interface construite sous Access (système de gestion de base de données avec programmes SQL) pour visionner et exploiter ces derniers à de multiples échelles possibles de régionalisation du monde.

Figure 3 : Structuration générale de traitement des données



I.2.1.2 Couvertures temporelle et géographique

Le service FAOSTAT des Nations-Unies regroupe, harmonise et diffuse un grand nombre de données nationales relatives à l'alimentation et à l'agriculture. L'importance de ce nombre est lié au souci de la FAO de couvrir l'ensemble des produits de l'agriculture utilisés par l'homme (et non uniquement ceux objets d'importantes transactions commerciales entre nations) ainsi que l'ensemble des pays (et non uniquement ceux dotés de moyens et compétences suffisamment élevés pour fournir des statistiques détaillées et de qualité). C'est à ces bases de données FAOSTAT que nous avons adossé l'essentiel de nos travaux, même si ces bases souffrent de défauts en grande partie liés au souci d'exhaustivité mentionné plus haut. On peut aisément souligner ces défauts. Pour notre part, à la plus grande fiabilité de certaines bases centrées sur des périodes, produits ou régions, nous avons préféré le « macroscopie » au « microscopie », c'est-à-dire tenter d'embrasser du regard – et via la même lunette – les divers espaces d'un vaste paysage (géographique et historique), plutôt que concentrer l'éclairage sur quelques parcelles de cet ensemble. Cette focale d'observation, d'analyse et de modélisation est complémentaire d'autres ; elle permet d'accéder à une connaissance à laquelle d'autres ne peuvent accéder, et vice-versa.

L'amélioration de la fiabilité et de la cohérence des données FAOSTAT ne demeure pas moins souhaitable, à côté de l'élargissement de ses données à des domaines pour lesquels il n'existe pas (ou plus...) de séries structurées et harmonisées à l'échelle internationale (facteurs de production agricole en particulier). En juin 2006 d'ailleurs, alors que débute la prospective Agrimonde, la FAO s'engage dans une vaste et ambitieuse réforme visant à améliorer, en particulier, ses Comptes Disponibilité-Utilisation (CDU) et les données qui concourent à élaborer ces derniers. Elle abandonne pour cela des séries remontant à 1961 (« FAOSTAT1 »), et en propose début 2007 de nouvelles remontant à 1990 seulement (« FAOSTAT2 »). Cette plus faible profondeur historique, couplée à d'autres motifs d'ordre plus technique (réorganisation des lignes de produits et de leur codage, du format des fichiers de base, du contenu des rubriques...), nous conduit à préférer utiliser les séries Faostat1 déjà rapatriées [FAO, 2006]. Pour des raisons mal connues, FAOSTAT2 est brutalement abandonné début 2008 pour un retour vers Faostat1. Ces tribulations expliquent qu'à la fin de la même année, les CDU et bilans alimentaires de la FAO (cf. section I.2.1.6) ne soient pas actualisés au-delà de 2003, tout comme l'essentiel de nos séries.

Entre 1961 et 2003, la superficie terrestre n'a pas changé contrairement au nombre de pays ou à leur frontière. Dans les séries FAOSTAT, on recense plus de 250 unités géographiques au cours de ces quatre décennies. Nous en avons retenus 149 (cf. annexe 1) après avoir écarté un grand nombre d'îles et micro-Etats très mal ou très irrégulièrement renseignés, et quelques autres zones plus vastes mais présentant les mêmes lacunes statistiques : Afghanistan, Antarctique, Guyane Française, Irak, Sahara Occidental et Somalie)¹³. Cette sélection représente une superficie fixe entre 1961 et 2003 et, en 2000, par rapport au total « Monde » (hors Antarctique) de la FAO pour la même année :

- 98,3% des populations humaines (5 983,885 Mhab. / 6 085,574)
- 98,6% des terres cultivées (cultures et plantations) (1 512,948 Mha / 1 534,945),
- 97,3% des surfaces terrestres (13 078,385 Mha / 13 443,345).

Notre total « Monde » sera donc calculé avec les entités ci-dessus précisées, entités dont le nombre varie selon l'année considérée : après 1991 par exemple, l'entité « URSS » se divise en quinze nouvelles (Fédération de Russie, Ukraine...). Il en ira de même pour les totaux régionaux de tel ou tel zonage du monde. Pour la prospective Agrimonde, le zonage utilisé est celui du MEA (*Millennium Ecosystem Assessment*) qui regroupe les pays (ou divise le monde...) en 6 régions (cf. figure 1). La répartition de nos entités dans les six régions du MEA est précisée en annexe 1.

Ce zonage MEA délimite des régions jugées relativement homogènes, suivant quelques indicateurs choisis parmi la multitude en mesure de rendre compte de la diversité bien réelle des situations écologiques, socio-économiques ou encore historiques, ceci à partir d'unités géographiques d'analyse (pays en l'occurrence) ne portant pas en elles-mêmes la diversité des situations qu'elles intègrent. Ces regroupements d'espaces et ces changements d'échelle d'analyse sont aussi courants que nécessaires, même s'ils posent diverses questions, dans l'estimation de certaines grandeurs comme dans l'élaboration et l'application de modèles.

¹³ La zone « Belgique-Luxembourg » a par contre été conservée alors qu'à compter de l'année 2000, les séries relatives aux bilans alimentaires ne comptaient aucune donnée pour cet ensemble ou pour l'une de ses unités (Belgique et Luxembourg séparés). Cela a introduit de petit biais dans diverses évaluations.

I.2.1.3 Populations humaines

Nos données historiques annuelles par pays relatives aux populations humaines sont extraites de la série « PopStat » de FAOSTAT (fichier baptisé « *PopSTAT-Annual-Time-Series1* » en 2007-08). Cette série regroupe deux séries d'estimations de la Division Population des Nations-Unis : les « *Population-Estimates 2004 rev.* » et les « *Population-Estimates 2006 rev.* ». Nous avons retenu la première série parce qu'elle décrit les populations qu'elle recense suivant le sexe (populations féminine / masculine), la zone d'habitation (populations rurale / urbaine)¹⁴, le caractère agricole (populations agricole / non-agricole)¹⁵, le caractère « économiquement actif »¹⁶. La série « 2006 rev. » est bien moins développée mais plus à jour (année 2006 contre année 2005 pour « 2004 rev. »). Dans leur compte, ces deux séries diffèrent sensiblement en début (années 1960) comme en fin de période (années 2000). Pour 2005 par exemple, la population mondiale (agrégat « Monde+ » de la FAO) s'élève à 6,465 milliards d'individus avec la première série, à 6,515 avec la seconde (NB : pour 1961, on obtient successivement 3,081 et 2,804 milliards).

Pour les projections de populations humaines à l'horizon 2050, deux sources de données par pays sont mobilisées :

(1) les projections du MEA suivant ses 4 scénarios (AM, GO, OS, TG), de 2000 à 2050 par tranche de 5 ans, suivant 21 classes d'âge (0-4 ans, 5-9 ans, etc.) ;

(2) les projections des Nations Unies telles que mises en ligne courant 2007 sur le site UNSTATS¹⁷, par année de 2006 à 2050, suivant quatre hypothèses : fertilité constante (« *Constant fertility scenario* ») et variantes haute (« *High variant projection* »), basse (« *Low variant projection* ») et intermédiaire (« *Medium variant projection* ») de projection.

Notre espace géographique d'étude étant plus réduit que la réalité pour les raisons exposées à la section précédente, et conservé constant en rétrospectif comme en prospectif pour assurer la cohérence des calculs et autoriser des comparaisons sans biais dans le temps, ceci conduit à des écarts d'estimations avec d'autres sources que le tableau 2 précise.

Tableau 2 : Variations d'estimation des populations humaines mondiales (2000 et 2050)

Année	Source	(millions d'habitants)	Total pays Source	Total pays Agribiom	Ecart	
2000	FAOSTAT	Estimations 2006 Rev.	6 124	5 984	140	2,3%
2000	FAOSTAT	Estimations 2004 Rev.	6 086	5 984	102	1,7%
2000	UNSTAT, 2007	Code 13660	6 086	5 984	102	1,7%
2050	MEA, 2006	Scénario GO	8 085	7 872	213	2,6%
2050	MEA, 2006	Scénario TG	8 812	8 578	234	2,7%
2050	MEA, 2006	Scénario AM	9 514	9 265	250	2,6%
2050	MEA, 2006	Scénario OS	9 559	9 303	256	2,7%
2050	UNSTAT, 2007	Scénario "Variante basse"	7 667	7 440	227	3,0%
2050	UNSTAT, 2007	Scénario "Variante intermédiaire"	9 060	8 800	260	2,9%
2050	UNSTAT, 2007	Scénario "Variante haute"	10 627	10 330	297	2,8%
2050	UNSTAT, 2007	Scénario "Fertilité constante"	11 634	11 245	389	3,3%

¹⁴ Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) : « Population rurale » = « Reste de la soustraction de la population urbaine du total de la population » et « Population urbaine » = « *Usually the urban areas and hence the urban population are defined according to national census definitions which can be roughly divided into three major groups: classification of localities of a certain size as urban; classification of administrative centres of minor civil divisions as urban; and classification of centres of minor civil divisions on a chosen criterion which may include type of local government, number of inhabitants or proportion of population engaged in agriculture, as urban.* »

¹⁵ Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) : « Ensemble des personnes qui vivent de l'agriculture, de la chasse, de la pêche ou de la foresterie. Cette estimation comprend toutes les personnes exerçant une activité agricole ainsi que les inactifs à leur charge. Il ne s'agit pas nécessairement d'une population issue exclusivement de la population rurale ».

¹⁶ Deux définitions dans la version française du glossaire FAOSTAT en ligne (2008) :

- « Ensemble des personnes employées (y compris les personnes ayant dépassé un certain âge et qui, au cours de la période de référence occupaient un emploi rémunéré, avaient un travail, étaient travailleurs indépendants ou avaient en emploi mais ne travaillaient pas) et les personnes sans-emploi (y compris les personnes ayant dépassé un certain âge et qui, au cours de la période de référence, n'avaient pas d'emploi, étaient disponibles pour travailler et cherchaient du travail) ».

- « Ensemble des personnes occupées ou non (y compris celles qui recherchent du travail pour la première fois). Il recouvre les employeurs, les travailleurs indépendants, les employés salariés, les ouvriers salariés, les travailleurs non rétribués qui aident une famille ou travaillent dans une ferme ou un commerce, les membres des coopératives de producteurs, et les membres des forces armées. La population active est également appelée main-d'œuvre ».

¹⁷ Série « Population total (UN Pop. Div. annual estimates and projections) [code 13660] » téléchargée le 08/05/2007 à l'adresse http://unstats.un.org/unsd/cdb/cdb_advanced_data_extract.asp?srlD=13660.

I.2.1.4 Utilisation des terres

Les données historiques annuelles par pays relatives à l'utilisation générale des terres combinent trois séries de données FAOSTAT :

- [1] la série « Terres » (« *Land* ») dans son état de 2007 (fichier « *RessourceSTAT-Land1.xls* ») ;
- [2] la série « Terres » (« *Land* ») dans son état de 2006 (fichier « *9541E_0.csv* ») ;
- [3] la série « Surfaces irriguées » dans son état de 2006 (fichier « *9542E_0.csv* »).

La série [1] actualise jusqu'en 2005 des données FAO sur l'usage des sols qui distinguent 6 catégories :

- les cultures annuelles (dénommées « Terres arables », « *Arable land* »)¹⁸,
- les plantations (« Cultures permanentes », « *Permanent crops* »)¹⁹,
- les pâtures (« Prairies et pâturages permanents », « *Permanent meadows and pastures* »)²⁰,
- les forêts (« Forêts », « *Forests* »)²¹,
- les autres terres émergées (« Autres terres », « *Other land* »),
- les lacs, rivières et autres terres immergées (« Eaux intérieures », « *Inland water* »), le total de ces surfaces devant en principe évaluer la « superficie totale du pays » (cf. tableau 3) par ailleurs renseignée (avec d'autres agrégats intermédiaires de type « Surfaces agricoles »).

La diffusion de cette série [1] est l'occasion pour la FAOSTAT d'ajouter de nouvelles et importantes rubriques (« Jachères », « Prés et pâturages temporaires »...). Mais celles-ci s'avèrent exceptionnellement renseignées, ou insuffisamment actualisées jusqu'en 2005 pour les surfaces irriguées : ces dernières ont été importées de l'ancienne série [3] couvrant la période 1961-2003. La série [1] propose également de nouvelles estimations pour les surfaces en forêts, sans néanmoins remonter au-delà de 1990 : avant cette date, les données de la série [2] ont été importées, et la surface « Autres terres émergées » ajustée de manière à ce que la somme des utilisations ne dépasse pas la superficie totale du pays. Enfin, cette série [1] ne corrige pas certaines lacunes, erreurs et inconsistances constatées les années précédentes dans cette série sur l'usage des terres²² : quelques corrections ont été apportées.

Dans la suite des travaux, les surfaces de cultures annuelles et pérennes (plantations) ont été fondues en une seule catégorie, les « surfaces cultivées », surfaces au sein desquelles nous distinguons, pour les simulations, de possibles importantes « surfaces cultivées non-alimentaires » (SCNA : caoutchouc, tabac, fibres, eucalyptus, ...) à côté des « surfaces cultivées alimentaires » (SCA). Nous avons considéré ces SCNA comme nulles jusqu'au début des années 2000 bien qu'elles ne le soient pas²³, pour une raison principale, et plus générale : nous nous sommes résolus à ne pas utiliser les « surfaces récoltées » par culture telles que renseignées dans les séries FAO « ProdSTAT » parce que leur rapprochement avec les surfaces nettes cultivées de la série [1] s'avère complexe et fournit, avec nos tentatives, des résultats trop fréquemment étonnants ou inconsistants.

Enfin, les données nationales annuelles relatives aux côtes et surfaces maritimes (années 1990 à 2000 selon les cas) ont été importées d'une base élaborée par l'Université de Hambourg. Cette base, un temps disponible sur le site de l'Université (www.fnu.zmaw.de), compilait des données de

¹⁸ Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) : « Les terres arables sont les terres affectées aux cultures temporaires (les superficies récoltées deux fois n'étant comptées qu'une fois), prairies temporaires à faucher ou à pâturer, jardins maraîchers ou potagers et terres en jachères temporaires (moins de cinq ans). Les terres abandonnées à la suite de cultures itinérantes ne figurent pas dans cette catégorie. Les données relatives aux terres arables n'ont pas pour objet d'indiquer la quantité des terres potentiellement arables ».

¹⁹ Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) : « Les cultures permanentes sont semées ou plantées une fois, puis occupent le terrain pendant quelques années et ne doivent pas être replantées après chaque récolte annuelle, comme le cacao, le café et le caoutchouc. Cette catégorie comprend les arbustes destinés à la production de fleurs, les arbres fruitiers et les vignes, mais non les arbres destinés à la production de bois ou de grumes ».

²⁰ Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) : « Terres consacrées de façon permanente (cinq ans au minimum) aux herbacées fourragères, cultivées ou sauvages (prairies sauvages ou pâturages). La limite entre cette catégorie et la catégorie "Forêts et terrains boisés" n'est pas très nette, en particulier pour les zones arbustives, la savane, etc., qui peuvent avoir été prises en compte dans une catégorie ou dans l'autre ».

²¹ Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) pour « Forêts et terres boisées » : « Toute terre portant des peuplements naturels ou artificiels d'arbres, qu'ils soient productifs ou non. Cette catégorie comprend les terres déboisées dont le reboisement est envisagé dans un proche avenir mais non les forêts ou les terres boisées réservées aux loisirs. La question des zones arbustives, de la savane, etc., pose le même problème que dans la catégorie "Prairies et pâturages permanents" ».

²² la superficie de l'Espagne diminue puis augmente entre 1990 et 2003, la superficie du Groenland augmente de 6,9 millions d'hectares entre 1996 et 1997...

²³ En 2003, selon la FAO, à l'échelle mondiale (Word+), les surfaces récoltées (brutes) en fibres, caoutchouc et tabac totalisaient un peu plus de 46 millions d'hectares qui, ramenées à une surface cultivée nette de 1 552, représente 3% de cette dernière.

diverses origines (*World Resources Institute, CIA World Fact Book, Delft Hydraulics, Gallup and Sachs...*) dont « *The Global Maritime Boundaries Database (GMBD)* » pour les surfaces en plateau continental.

Tableau 3 : Variations d'estimation de surfaces terrestres mondiales (2003)

Surfaces (x 1000 ha)	Total pays Faostat (Word+)	Total pays Agribiom	Ecart (ha)	(%)
(1) Cultures et plantations	1 551 518	1 529 043	22 475	1,4%
- Cultures annuelles (<i>arable land</i>)	1 413 002	1 392 951	20 052	1,4%
- Plantations (<i>permanent crops</i>)	138 516	136 093	2 423	1,7%
- Superficie irriguée (<i>total area equipped for irrigation</i>)	276 500	270 273	6 227	2,3%
(2) Pâtures (<i>permanent meadows and pastures</i>)	3 415 704	3 325 988	89 716	2,6%
(3) Forêts (<i>forest area</i>)	3 966 660	3 904 776	61 883	1,6%
(4) Autres terres émergées (<i>other land</i>)	4 078 908	3 891 722	187 186	4,6%
(5) Eaux intérieures (<i>inland water</i>)	429 780	426 910	2 870	0,7%
Total (1) + (2) + (3) + (4)	13 012 789	12 651 530	361 260	2,8%
Superficie émergée (<i>land area</i>)	13 013 621	12 651 530	362 091	2,8%
Total (1) + (2) + (3) + (4) + (5)	13 442 569	13 078 440	364 130	4,6%
Superficie totale (<i>country area</i>)	13 443 401	13 078 440	364 961	2,7%

I.2.1.5 Potentiels cultivables

A la fin des années 1990, l'ambition de la FAO et de l'IIASA, via Fischer et al. (2001, 2000, 2002), est de procéder à une nouvelle évaluation des potentiels mondiaux de production agricole en valorisant des avancées récentes en images satellitaires et techniques SIG (systèmes d'information géographiques). Cette démarche, baptisée GAEZ (*Global Agro-Ecological Zones*), s'appuie sur les AEZ (*Agro-Ecological Zones*) qui, objets de travaux divers depuis vingt ans, s'efforcent d'identifier et caractériser les zones de climats, de sols et de terrains plus ou moins propices aux productions agricoles.

La méthode GAEZ consiste, *grosso modo*, à adapter puis croiser, sur les cellules d'une grille géographique beaucoup plus fine que l'échelle nationale (i.e. des « carrés » de quelques kilomètres de côté), les deux types de données ci-après.

(a) Données sur les milieux agro-écologiques

Ces données portent sur :

- le climat (données/modèle CRU à 30 minutes²⁴ de latitude/longitude, avec moyenne 1961-90 pour le climat dit « de référence », et données IPCC pour les scénarios climatiques) ;
- le type de sol (base de données Fao/Unesco DSMW sur 2,2 millions de cellules de 5 minutes de latitude/longitude) ;
- la pente (modèle numérique d'élévation GTOPO30 à 30 arc-seconde de latitude/longitude) ;
- l'occupation « actuelle » des terres (12 types « agrégés » d'occupation issus de la cartographie GLCC à 30 arc-seconde de latitude/longitude effectués à partir d'images satellites prises, semble-t-il, en 1992/93).

(b) Données sur de possibles utilisations des terres

462 types d'utilisation des terres – ou LUTs (*Land Utilization Types*) – sont retenus (puis caractérisés)²⁵ en combinant :

- 154 productions agricoles incluant quelques fourrages et pâtures, ou plutôt 27 espèces déclinées en divers sous-types attachés à une zone climatique : 8 céréales (83 ST : 4 blés hibernants, 12 blés non-hibernants, 13 maïs grain et 6 maïs ensilage, etc.), 3 racines ou tubercules (8 ST : 4 pommes de terres, 1 manioc, 3 patates douces), 3 pois et lentilles (17 ST), 6 oléagineux (25 ST, dont 1 palmier et 1 olivier), 1 fibre (7 ST de coton), 2 cultures sucrières (6 ST : 1 canne à sucre et 5 betteraves sucrières), 1 fruit (banane/plantain) et 3 fourrages (5 ST : 1 luzerne, 4 pâtures de graminées, 4 pâtures de légumineuses) ;

²⁴ 1 degré (60 minutes) à l'Equateur équivaut environ à 111 km ; 30 arc-seconde = 1 minute = 1,854 km à l'Equateur.

²⁵ Chaque LUT est référencé sur divers critères : type de plante (C3, C4...), durée du cycle de production, période de pré-dormance et post-dormance, indice foliaire maximum, rendement potentiel, étapes critiques de croissance / besoins minimum en eau, facteurs de limitation des rendements, indice de récolte, taux d'extraction, contenu nutritionnel, taux d'utilisation des coproduits et résidus, etc.

- 3 niveaux d'intensification (d'intrants), successivement baptisés « bas » (agriculture de subsistance : pas d'utilisation d'engrais chimiques, de pesticides ou de semences améliorées), « intermédiaire » (utilisation de certains intrants « modernes » et mécanisation partielle) et « haut » (type « agriculture commerciale d'Europe de l'Ouest ou d'Amérique du Nord »).

Le croisement de ces deux ensembles de données conduit, au niveau de chaque cellule de la grille géographique considérée, à d'abord calculer un rendement potentiel (de biomasse et de produit récolté) sans autre contrainte que la température et le rayonnement solaire, puis à réviser ce rendement en fonction, successivement :

- des contraintes dites « agro-climatiques » (précipitations, essentiellement), ce qui conduit alors à distinguer les cultures pluviales (*rainfed*) des cultures irriguées (sans présumer des réelles disponibilités en eau et de la qualité de cette dernière) ;
- des contraintes dites « de sol et de terrain », incluant notamment la pente (qui limite l'intensification des productions par mécanisation, irrigation...) et les besoins en jachères (pour assurer une fertilité à long terme des sols dans le milieu considéré), ce qui conduit alors à distinguer les potentiels suivant les trois niveaux d'intensification mentionnés plus haut (bas, intermédiaire et haut).

L'ensemble conduit ainsi à évaluer en termes de surface, par culture (blé, riz, etc. + quelques catégories agrégées, dont « cultures céréalières » et « toutes les cultures »), par niveau d'intensification (bas, intermédiaire et haut), et par utilisation ou non d'irrigation (du moins pour les niveaux d'intrants intermédiaire et haut), quatre gradients de potentiels : VS (*very suitable*), S (*suitable*), MS (*moderately suitable*) et mS (*marginally suitable*), ceci à côté de NS (*not suitable land*) et de NAG (*land estimated for settlement and infrastructure*). L'exercice conduit également à fournir des rendements potentiels maximum pour chaque classe issue des combinaisons ci-dessus évoquées.

Toutes les données GAEZ exprimées par pays et disponibles en ligne (FAO et IIASA, 2000) ont été importées, et celles utilisées par la prospective Agrimonde (après agrégation par région MEA) sont présentées en annexe 6. L'examen de ces données conduit à relever des problèmes ou difficultés qui permettent de cerner des limites d'utilisation :

- (a) l'interprétation des agrégats « *All crops* » et « *Mixed inputs* » n'est pas aisée en raison de définitions floues ;
- (b) les résultats de potentiels présentés dans les trois sources [FAO et IIASA, 2000], [Fischer et al., 2000, 2002] ne sont pas identiques²⁶ ;
- (c) les superficies de pays selon GAEZ sont sensiblement égales à celle de la FAO (cf. section I.2.1.4), mais il existe des exceptions²⁷ qui ne peuvent être expliquées par les surfaces terrestres immergées ;
- (d) les surfaces en forêts et les surfaces artificialisées (habitats, routes, etc.) sont évaluées pour une année qui reste imprécisée (1992/93 ?) ;
- (e) les potentiels GAEZ ne sont pas exprimés par catégorie actuelle d'utilisation des terres, si ce n'est pour les forêts dont les surfaces totales s'avèrent très différentes (en général très inférieures) de celles de FAOSTAT et, plus généralement, d'autres sources de données sur l'occupation des terres durant les années 1990 ;
- (f) une estimation similaire des potentiels cultivables aurait été effectuée après simulation d'un réchauffement (uniforme...) plus ou moins important de la planète (+1 °C, +2 °C, etc.), mais ces données se sont avérées inaccessibles.

²⁶ Exemple : pour le potentiel VS+S+MS en condition pluviale avec un niveau mixte d'intensification, on trouve successivement, pour l'Amérique du Nord, 384,2 Mha avec les données en ligne, 405,5 Mha dans le rapport 2000, et 366,3 Mha dans le rapport 2002.

²⁷ Bhutan (14% de différence), Suriname, Liberia, Morocco, Ecuador, Belgium-Luxembourg, Saudi Arabia, United Arab Emirates, Libyan Arab, Netherlands, Kuwait, India, Rwanda, Niger, Guinea-Bissau, Tunisia (6%)...

I.2.1.6 Bilans ressources - emplois de biomasses alimentaires

Comme énoncé en introduction de cette section sur Agribiom, l'équilibre physique (passé ou simulé) d'emplois et ressources de biomasses constitue le cœur de nos travaux, avec la spécificité d'associer pour l'heure trois particularités.

La première particularité de nos bilans ressources - emplois est qu'ils sont élaborés pour la quasi-totalité des « biomasses alimentaires » que nous avons réparties en cinq « compartiments » liés à l'origine des produits et à l'usage des sols :

- Les produits végétaux (*VEGE*),
- Les produits animaux, avec ceux de ruminants et gros herbivores d'une part (*RUMI*), ceux produits de monogastriques d'autre part (*MONO*),
- Les produits aquatiques (végétaux ou animaux), avec les produits d'eaux douces d'un côté (*AQUA*) et les produits d'eaux marines de l'autre (*MARI*).

Par « biomasse alimentaire », nous entendons toute matière organique pouvant, sous sa forme primaire, servir d'aliment à l'être humain, et servant effectivement à cet usage sous une forme plus ou moins élaborée (graines, huile, pain, cornflakes, etc.), ou bien étant orientée totalement (ex. graines de maïs) ou partiellement (ex. tourteaux) vers l'alimentation animale ou d'autres utilisations (semences, éthanol ou biodiesel, chimie verte...). Cette définition intègre donc un très grand nombre de produits agricoles, mais pas tous puisque sont ici exclus des produits comme le caoutchouc, les fibres de coton ou autre, la soie, la laine, le cuir, les huiles essentielles, les fourrages (luzernes, ensilages, pailles, bagasses...), etc.²⁸.

La deuxième particularité de notre comptabilité est d'utiliser la calorie alimentaire (kcal) comme unité commune de volume²⁹, pour les consommations comme pour les productions ou échanges de biomasses. Toute biomasse alimentaire fournit en effet de l'énergie à l'être humain, énergie qui, par gramme ou kilogramme de produit ingéré, est particulièrement élevée avec les huiles et graisses végétales ou animales, et particulièrement basse avec des produits frais comme les agrumes, tomates, mollusques et crustacés, ou des produits tropicaux comme le thé, café ou ananas. L'utilisation de cette unité permet, en particulier, d'additionner (et regrouper en « compartiments »...) des quantités de produits qu'il est inapproprié d'additionner quand ces dernières sont exprimées en tonnes, litres ou effectifs. Cependant, si l'analyse en calories alimentaires présente divers intérêts, elle comporte également des limites, notamment aux plans économique (la calorie d'un grain de maïs ne vaut pas celle d'une graine de café...) et nutritionnel [Deaton et Dreze, 2008] et [Dorin, 1999]. Sur ce dernier point, on soulignera qu'un régime satisfaisant en calories ne l'est pas nécessairement en micronutriments (vitamines et minéraux, particulièrement présents dans les fruits et légumes), ni même en macronutriments (glucides, protéines et lipides) dont les diverses formes doivent chacune être consommées sans déficit ni excès pour mener une vie saine et active. Ces considérations et d'autres nous ont conduit à exprimer autant que possible les bilans caloriques suivant leur teneur en glucides, protéines et lipides, sur la base d'un apport moyen de, respectivement, 4, 4 et 9 kcal par gramme de macronutriment.

La troisième particularité est de représenter puis simuler les ressources et emplois annuels de biomasses alimentaires selon la structure d'équation présentée ci-après, équation que l'on veut vérifier :

- au niveau de chaque compartiment *i* de biomasse (*VEGE*, *RUMI*...)
- à l'échelle de chaque région *r* considérée (ex : régions du MEA)
- de manière à ce que la somme des soldes *TRAD* (Exports-Imports) par compartiment *i* soit nulle à l'échelle mondiale :

$$AREA^{r,i} * (PROD^{r,i} / AREA^{r,i}) - TRAD^{r,i} + \Delta STOC^{r,i} \\ = POPU^f * (FOOD^{r,i} / POPU^f) + FEED^{r,i} + SEED^{r,i} + VANA^{r,i} + WAST^{r,i}$$

avec :

- *i* un compartiment de biomasse alimentaire (*VEGE*, *RUMI*, *MONO*, *AQUA* ou *MARI*),
- *r* une région du monde (pays ou groupe de pays),

²⁸ Nos bilans alimentaires n'intègrent également pas les animaux vifs (dont le commerce et les variations de stocks, en particulier, ne sont pas sans influence sur les bilans alimentaires), une raison étant que seuls leurs produits (lait, viande...) sont objet de CDU (cf. infra).

²⁹ ...de quantité physique (par opposition à « valeur »).

- $AREA^{r,i}$ une surface (ha) dans une région r : surface cultivée alimentaire (SCA)³⁰ quand $i = \text{VEGE}$, surface recouverte en eaux douces quand $i = \text{AQUA}$, surface de plateau continental quand $i = \text{MARI}$; sinon ($i = \text{RUMI}$, MONO) : $AREA = 1$,
- $PROD^{r,i}$ un volume de production alimentaire i dans une région r (kcal),
- $PROD^{r,i}/AREA^{r,i}$ un rendement en produits alimentaires i (kcal/ha) dans une région r quand $i = (\text{VEGE}, \text{AQUA}, \text{MARI})$; sinon ($i = \text{RUMI}, \text{MONO}$), $PROD^{r,i}/AREA^{r,i} = PROD^{r,i}$
- $TRAD^{r,i}$ un solde Exports-Imports (kcal) en produits alimentaires i pour la région r ,
- $\Delta STOC^{r,i}$ une variation de stocks (kcal) de produits i dans la région r (signe négatif si déstockage),
- $POPU^r$ un effectif de populations humaines (personnes) dans une région r ,
- $FOOD^{r,i}$ un volume de produits alimentaires i (kcal) utilisé dans une région r pour l'alimentation des populations humaines, y compris gaspillages et pertes durant et après la mise à disposition aux ménages et collectivités,
- $FOOD^{r,i}/POPU^r$ un niveau moyen de consommation par personne (kcal/tête) de produits i dans la région r (y compris gaspillages et pertes...),
- $FEED^{r,i}$ un volume de produits alimentaires i (kcal) utilisé dans la région r pour l'alimentation des animaux,
- $SEED^{r,i}$ un volume de produits alimentaires i (kcal) utilisé dans la région r pour la reproduction,
- $VANA^{r,i}$ un volume de produits alimentaires i (kcal) utilisé dans la région r à des fins non-alimentaires : lubrifiants, énergie, cosmétique, biomatériaux...,
- $WAST^{r,i}$ un volume de pertes de produits alimentaires i (kcal) dans la région r entre le disponible (Production +/- Exports-Imports +/- Stocks) et la mise à disposition effective à tel ou tel usage.

Les volumes de biomasses sont exprimés en calories alimentaires, qui peuvent être des calories totales, mais aussi des calories issues uniquement des glucides, des protéines, ou encore des lipides. Le terme de gauche de l'équation représente les ressources : les productions régionales de biomasses augmentées ou diminuées du solde net des exports-imports et des variations nettes de stocks. Pour les biomasses végétales et aquatiques, les productions régionales sont représentées comme fonction d'espaces de production plus ou moins vastes (ha) et de productivité (partielle) de ces espaces plus ou moins importantes (kcal/ha)³¹. Une telle représentation n'étant pas possible pour les productions de biomasses animales (*RUMI* et *MONO*)³², il a fallu, pour la simulation de telles productions, recourir à d'autres formes (cf. section 1.2.1.8). Le terme de droite de l'équation représente quant à lui les usages régionaux des biomasses. Il représente les consommations alimentaires humaines comme des populations humaines plus ou moins nombreuses (personnes) consommant des quantités plus ou moins importantes de biomasses par personne (kcal/personne).

Cette représentation des ressources et emplois de biomasses alimentaires est étroitement liée aux séries statistiques qui pouvaient raisonnablement la renseigner sur le passé à l'échelle de chaque pays du monde, et sur une période relativement longue. Les séries mobilisées pour les populations humaines (*POPU*) et les surfaces (*AREA*) ont déjà été présentées (cf. section 1.2.1.3, 1.2.1.4). Les autres sont issues d'une base de données beaucoup plus volumineuse que les précédentes, base qui reprend et compacte elle-même des séries détaillées de productions et d'échanges de produits agricoles. Cette base est celle des Comptes Disponibilité Utilisation (CDU, anciennement appelées « *Commodity Balances* ») élaborés par la FAO [FAO, 2006]. Les CDU présentent le grand intérêt d'être établis (i) pour la quasi-totalité des pays du monde, (ii) sur plus de quarante ans (1961-2003), (iii) pour plus de 120 lignes de produits, (iv) de manière à ce que, pour chacune de ces lignes, l'évaluation des « disponibilités » nationales (production + importation – exportation – variation de stock) équilibrent des « utilisations ». Ces dernières comptent 6 rubriques : les cinq mentionnées ci-dessus ($FOOD^{33}$, $FEED^{34}$, $SEED^{35}$, $VANA^{36}$, $WAST^{37}$) et une sixième intitulée « Manufacturé » (cf. infra).

³⁰ Cf. cf. section 1.2.1.2 : surface cultivée totale (cultures annuelles et plantations) – surface cultivée non-alimentaire (SCNA : caoutchouc, eucalyptus, biomatériaux).

³¹ Cette représentation de la production est aussi simple que réductrice et orientée vers l'investigation de questions plutôt que d'autres ; ces dernières ne sont pas par exemple ici relatives au nombre d'actifs agricoles, et à la productivité (partielle) du travail de ces actifs.

³² La production de ces biomasses peut difficilement être reliée à des quantités spécifiques d'hectares.

³³ Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) : *Data refer to the total amount of the commodity available as human food during the reference period. Data include the commodity in question, as well as any commodity derived therefrom as a result of further processing. Food from maize, for example, comprises the amount of maize, maize meal and any other products derived therefrom available for human consumption. Food from milk relates to the amounts of milk as such, as well as the fresh milk equivalent of dairy products.*

³⁴ Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) : *Data refer to the quantity of the commodity in question available for feeding to the livestock and poultry during the reference period, whether domestically produced or imported.*

³⁵ Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) : *Data include the amounts of the commodity in question set aside for sowing or planting (or generally for reproduction purposes, e.g. sugar cane planted, potatoes for seed, eggs for hatching and fish for bait, whether domestically produced or imported) during the reference period. Account is taken of double or successive*

Cette comptabilité annuelle par pays est effectuée en tonnes. Pour les 109 lignes de ce que nous considérons comme « biomasses alimentaires » (cf. annexe 2), ces tonnages ont été convertis en calories totales et en calories issues des macronutriments (glucides, protéines, lipides) à partir de références [FAO, 2003.a], parfois de références [USDA, 2006], et de l'équation $Kcal_{Total} = 4 * g_{glucides} + 4 * g_{protéines} + 9 * g_{lipides}$. Dans le cas particulier des aliments pour animaux (ex. tourteau de soja), des équivalents caloriques et macro-nutritionnels ont été déduits des valeurs caloriques et macro-nutritionnelles du produit primaire (ex. graine de soja), des valeurs caloriques et macro-nutritionnelles d'un produit secondaire (ex. huile de soja) et d'un taux d'extraction constaté pour ce dernier en moyenne mondiale, ceci à partir des tonnages CDU de la FAO sur toute la période considérée (ex. 18% pour l'huile de soja). Une fois ces conversions en calories effectuées, les lignes sont agrégées en compartiments comme indiqué en annexe 2, en devant parfois procéder à des arbitrages contestables³⁸.

Les CDU offrent une source unique d'information pour évaluer et analyser de grandes tendances en matière de productions, échanges et usages de biomasses. Mais cette comptabilité est imparfaite et complexe. Elle nous a conduit, en particulier, à formuler et tester diverses options de classement des lignes en produits « primaires » ou « secondaires », ceci afin d'éviter des doubles comptages (notamment en matière de production) et obtenir *in fine* des bilans Ressources - Emplois relativement équilibrés à l'échelle globale tant en termes de calories totales que de macronutriments, sur 43 ans, et ceci sans la rubrique d'usage « Manufacturé » (cf. supra). Cette rubrique « Manufacturé » rapporte en effet des volumes de produits « primaires » (ex. graine d'arachide, produite localement et/ou importée) utilisés pour la production locale d'un ou plusieurs produits « secondaires » apparaissant dans les CDU (ex. huile et tourteau d'arachide) selon des rendements de transformation par ailleurs non renseignés. A ces difficultés s'ajoute le fait que certains produits comme les alcools ne sont pas issus d'un seul produit primaire, mais de plusieurs (céréales, raisins, sucres), produits pouvant être eux-mêmes des produits « secondaires » (sucres en particulier, issus de la betterave ou de la canne). Après de multiples tests effectués sur l'ensemble des pays et de la période 1961-2003, nous avons traité les sucres et mélasses comme des produits primaires, et avons en conséquence écarté de l'analyse les volumes de canne et betterave à sucre desquels ils étaient de primes abords issus³⁹.

L'équilibre Ressources - Emplois n'est pas non plus atteint parce que les volumes d'exportation n'égalisent pas totalement les volumes d'importation. Ces problèmes et d'autres ont motivé une réforme de FAOSTAT en 2006, réforme abandonnée en 2008 (cf. section I.2.1.2). Avec les bilans caloriques tels que nous les avons élaborés, nous constatons pour notre part que le total des usages déclarés est, dans la grande majorité des cas, inférieur au total des disponibilités. Cette différence trouve diverses explications⁴⁰ et s'avère significative pour quelques pays, en premier lieu les Etats-Unis où près de 10% des disponibilités alimentaires végétales « disparaissent » ainsi au

sowing or planting whenever it occurs. The data of seed include also, when it is the case, the quantities necessary for sowing or planting the area relating to crops harvested green for fodder or for food (e.g. green peas, green beans, maize for forage) Data for seed element are stored in tonnes (t). Whenever official data were not available, seed figures have been estimated either as a percentage of supply (e.g. eggs for hatching) or by multiplying a seed rate with the area under the crop of the subsequent year.

³⁶ Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) : *Data refer to quantities of commodities used for non-food purposes, e.g. oil for soap. In order not to distort the picture of the national food pattern quantities of the commodity in question consumed mainly by tourists are included here (see also "Per capita supply"). In addition, this variable covers pet food.*

³⁷ Glossaire FAOSTAT en ligne (2008) : *Amount of the commodity in question lost through wastage (waste) during the year at all stages between the level at which production is recorded and the household, i.e. storage and transportation. Losses occurring before and during harvest are excluded. Waste from both edible and inedible parts of the commodity occurring in the household is also excluded. Quantities lost during the transformation of primary commodities into processed products are taken into account in the assessment of respective extraction/conversion rates. Distribution wastes tend to be considerable in countries with hot humid climate, difficult transportation and inadequate storage or processing facilities. This applies to the more perishable foodstuffs, and especially to those which have to be transported or stored for a long time in a tropical climate. Waste is often estimated as a fixed percentage of availability, the latter being defined as production plus imports plus stock withdrawals.*

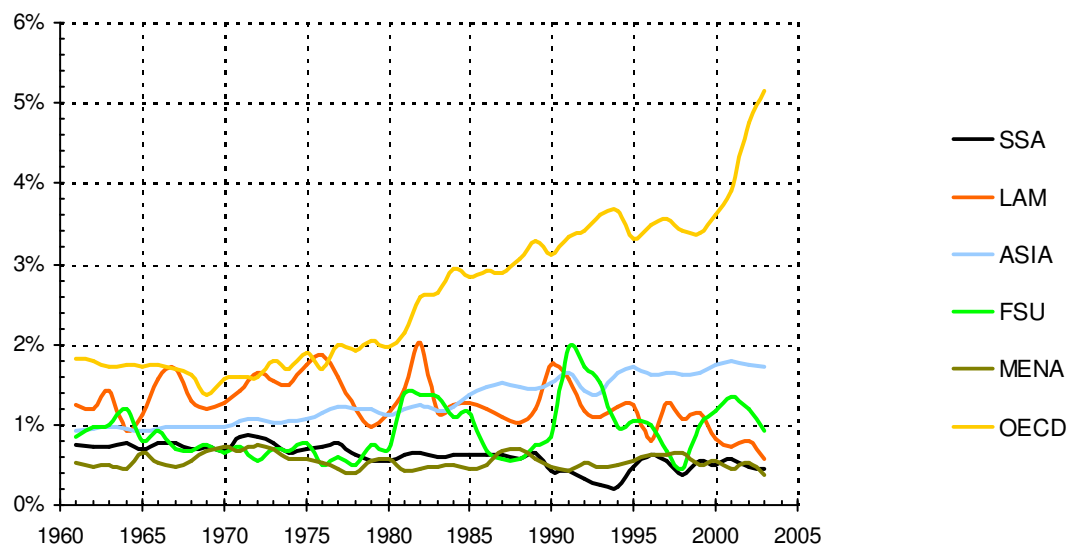
³⁸ Exemple : affectation de la ligne « Graisses Animales (Crue) » en *RUMI* alors que cette ligne concerne certainement aussi les compartiments *MONO* et *MARI*.

³⁹ Ces biomasses ne sont guère objets de transactions internationales, ce qui n'introduit pas de biais à ce niveau, mais peuvent comme en Chine être aussi utilisées comme *FEED*, et non uniquement pour la production de sucre.

⁴⁰ Absence de données CDU pour la Belgique et le Luxembourg (conservés dans notre base) à compter de l'année 2000 alors que cette région est importatrice nette de calories végétales (environ 50 Gkcal/jour depuis 1975), absence complète de données CDU pour des pays écartés pour cette raison de notre base (Irak, Afghanistan, Somalie...) alors qu'ils sont probablement importateurs nets de quantités significatives de biomasses alimentaires, sous-estimation de certains usages (dont gaspillages), surestimation des productions ou des exportations, erreurs dans notre traitement de la rubrique « Manufacturé », etc.

début des années 2000. Pour la grande majorité des pays cependant, ces écarts sont bien plus modestes : ils sont inférieurs à 3% (Etats-Unis inclus) au début des années 2000 à l'échelle mondiale, et inférieurs à 2% sur 43 ans pour cinq des six régions du MEA (cf. figure 4). Ces écarts représentent, avec les variations de stock, ce que nous appelons « Résidu » dans les simulations.

Figure 4 : Ecart Disponibilités-Usages / Usages pour les calories végétales (1961-2003)



I.2.1.7 Biomasses non-alimentaires

Le terme « biomasse » désigne un vaste ensemble de matières objet de différentes conceptions et définitions, des organismes vivants en milieux souterrains ou immergés aux feuilles des arbres et oiseaux dans le ciel, des matières organiques en cours de formation à celles fossilisées sous forme de pétrole, gaz naturel, charbon, lignine ou tourbe. Par « biomasses non-alimentaires », nous désignons ici :

- les « coproduits » ou « résidus » organiques liés aux récoltes de « biomasses alimentaires » (cf. section I.2.1.6) : pailles, rafles ...laine, cuir ;
- les produits de l'agriculture (y compris élevage et pêche) ne pouvant servir d'aliment à l'être humain sous leur forme primaire : caoutchouc, fibres de coton ou autre, soie, luzerne et autres fourrages cultivés, herbe des pâtures... ;
- les « coproduits » ou « résidus » organiques liés aux récoltes précédentes ;
- le bois sous ses diverses formes.

Diverses séries de données nationales FAO (CDU et autres) permettent d'évaluer directement (tabac, caoutchouc, fibres, laines, cuirs ...bois de chauffage, bois industriel) ou indirectement (résidus de récolte, biomasse forestière sur pied...) les tonnages de nombreuses biomasses non-alimentaires listées ci-dessus, et l'évolution de ces volumes durant les dernières décennies. Ces travaux doivent être repris, affinés, complétés. Notre outil de simulation propose pour l'heure d'intégrer à trois niveaux la problématique concurrence/complémentarité entre biomasses alimentaires et non-alimentaires :

- L'usage des terres, avec des surfaces plus ou moins importantes en forêts, en pâtures et en « surfaces cultivées non-alimentaires » (cf. SCNA section I.2.1.4) ;
- Des usages non-alimentaires de produits alimentaires, avec des « valorisations agricoles non-alimentaires » plus ou moins importantes (cf. VANA section I.2.1.6) ;
- Des modèles de productions animales explicitant, entre autres, des quantités de produits alimentaires utilisés pour l'alimentation des animaux (cf. FEED section I.2.1.6, et modèles infra).

I.2.1.8. Modèles de productions animales

Dans une approche emplois - ressources telle qu'Agribiom, cette section s'attache à montrer l'importance et la difficulté d'estimer les liens entre productions animales et ressources végétales disponibles pour ces productions, puis à proposer un premier système d'estimation en mesure de capturer d'importantes différences de technologies existant dans le domaine à l'échelle mondiale.

(a) Des données et des représentations problématiques

L'élevage (d'animaux terrestres) fournit des aliments pour l'être humain (laits et produits dérivés, viandes, œufs...) que ce dernier tend à consommer en quantité plus importante quand son revenu s'élève (cf. section I.2.2.2) : avec la croissance des populations humaines, la demande en produits animaux devrait continuer de s'intensifier à l'avenir. L'élevage fournit aussi de nombreux autres services, que ce soit pour l'épargne, le transport et la traction, la fertilisation des terres (déjections), la cuisson des repas (bouses séchées), l'éclairage, le lavage ou cosmétique (suifs et autres graisses animales), l'habillement (laines, cuirs, plumes, duvets...), le recyclage des déchets organiques, l'entretien des paysages et d'espaces riches en carbone et biodiversité, etc., sans oublier les fonctions religieuses ou sociales (animaux de compagnie). Il emploie directement et indirectement un grand nombre de personnes, et utilise virtuellement plus de 80% des terres dites « agricoles », avec 3,3 milliards d'hectares de pâtures⁴¹ et plus d'un demi-milliard d'hectares de terres cultivées⁴². L'élevage est aussi l'objet d'importantes inquiétudes aux plans sanitaire (épizooties...) et environnemental, notamment en ce qui concerne l'eau (consommation, pollutions...) et les émissions de gaz à effet de serre [Steinfeld et al., 2006].

Cependant, malgré l'importance de l'élevage aux plans économique et écologique, ce dernier souffre, à l'échelle mondiale, d'un important déficit d'informations statistiques. Les productions autres qu'alimentaires sont souvent mal évaluées (parfois pas du tout), de même que les facteurs de productions autres que les « concentrés » (céréales et tourteaux) pouvant être affectés aux animaux (travail, capital, consommations intermédiaires tels que les produits vétérinaires...). Au simple plan de l'alimentation animale, cela est particulièrement problématique quand on doit représenter le processus de conversion des biomasses végétales en diverses biomasses animales, ceci à des fins de perspectives globales en lien avec l'usage des terres. Pour les gros herbivores et ruminants tout spécialement, à côté d'éventuels additifs biochimiques, bien d'autres biomasses que les concentrés peuvent être apportées, et le sont en réalité, en complément ou substitut : fourrages annuels cultivés⁴³, herbes (vertes ou séchées) et autres biomasses issues des pâtures, savanes et divers autres parcs (y compris en forêts), résidus de récoltes (pailles, fanes, rafles...), résidus alimentaires (épluchures et autres restes), etc. Certains auteurs tentent de quantifier aux échelles nationales ou continentales ces différentes sources d'alimentation animale, tels [Devendra et Sevilla, 2002], [Wirsenius, 2003], [Bouwman et al., 2005] ou encore [Smeets et al., 2007]. À côté des quantités, l'évaluation de la qualité de ces biomasses est également très importante mais aussi mal connue (matière sèche, digestibilité, énergie, protéines, etc.). Pour ces sources d'alimentation animale comme pour les autres (concentrés) s'ajoute une troisième importante lacune statistique : la répartition de ces consommations animales de biomasses par espèce (équins, bovins, ovins, porcins, volailles...) et/ou par produit animal (laits, viandes...).

Les exercices de prospective agricole et alimentaire en viennent pourtant à utiliser in fine des taux de consommation/conversion A (a_{11}, \dots, a_{nk}) de telle ou telle biomasse I (i_1, \dots, i_n) par/en produit animal P (p_1, \dots, p_k). Les biomasses I se limitent généralement à des volumes de concentrés (céréales, tourteaux), et les produits P à des volumes de laits (vache, bufflesse, chèvre...), viandes (bovines, porcines...), œufs, ou bien un type de tête animal (veau, vache, taureau...). Les taux A sont fonction des unités de volume, qui peuvent être des kilogrammes de produit [Bouwman et al., 2005], [Delgado et al., 1999] des unités fourragères ou des kilogrammes de protéines [Sebillote,

⁴¹ Cf. définition supra section I.2.1.4 et données infra section I.2.2.3.

⁴² D'après nos estimations basées sur des données FAO, en l'an 2000, un tiers des calories végétales alimentaires consommées dans le monde sont utilisées comme aliments pour animaux, avec d'importantes variations par région de ce taux (cf. section I.2.2.3).

⁴³ Dans les séries CDU de la FAO que nous avons mobilisées, seuls cinq fourrages étaient renseignés : luzerne (*Alfalfa for forage and silage*), trèfle (*Clover for forage and silage*), maïs (*Maize for forage and silage*), ray-grass (*Rye grass for forage & silage*) et sorgho (*Sorghum for forage and silage*) ; par rapport à la réalité des productions fourragères dans le monde, cette liste est étroite ; pour la Chine, l'Inde et le Brésil, il n'y avait d'ailleurs aucune statistique pour l'un ou l'autre de ces fourrages ; cette étroitesse et ses lacunes nous ont conduit à ne pas utiliser ces données.

2001], ou encore des kilocalories [Collomb, 1999], [Griffon, 2006], [Malassis et Padilla, 1986]. Ces taux A sont évalués, grosso modo, de deux grandes manières que nous dénommons successivement « l'approche physiologique » et « l'approche statistique ».

L'approche physiologique s'attache à évaluer les taux A en fonction des besoins physiologiques individuels des animaux (pour l'entretien et la collecte de nourriture, une lactation plus ou moins abondante, un gain moyen quotidien en viande plus ou moins important, un effort journalier de traction...), de la composition des cheptels (espèces et races animales, âge, sexe et poids des animaux) et des caractéristiques locales des biomasses I à disposition. Cette approche conduit, concrètement, à devoir échafauder un grand nombre d'hypothèses lorsqu'on travaille aux échelles nationales, sur le passé et plus encore sur l'avenir. L'approche statistique consiste de son côté à évaluer A en fonction de volumes de consommations P observés un temps donné sur un espace donné et, pour l'avenir, à conserver ou modifier A selon diverses hypothèses d'experts portant, d'une part toutes les autres sources d'alimentation et autres facteurs de production, et, d'autre part, sur l'impact supposé de ces hypothèses sur A .

Dans les deux cas (approche physiologique et approche statistique), les représentations et coefficients utilisés pour simuler l'avenir tendent en pratique à souvent se rapprocher des situations aujourd'hui les mieux référencées : élevages industrialisés et stations expérimentales attachées à améliorer la productivité de ces élevages en lait, viandes ou œufs. Si d'énormes progrès ont été accomplis et seront encore accomplis dans les formes industrielles de production, on ne peut exclure d'emblée, dans le raisonnement prospectif, que d'autres formes d'élevage perdurent, s'améliorent ou émergent à l'avenir, notamment pour valoriser efficacement certaines ressources locales, ou fournir divers revenus et services à des agro-systèmes et populations faiblement dotées en capital financier et logistique, comme aujourd'hui dans la plupart des pays du Sud.

Tout cet ensemble de considérations nous a conduit à essayer d'améliorer la représentation et modélisation des productions alimentaires animales à l'échelle mondiale. Notre approche fut résolument statistique, et s'est structurée en deux grandes étapes :

(1) l'élaboration d'une base mettant en correspondance diverses données nationales *(i)* relatives aux productions animales et aux facteurs de production agricoles, *(ii)* sur un nombre d'années important pour disposer d'un échantillon satisfaisant de mesures et d'évolutions technologiques variées (1961-2003), *(iii)* suivant des agrégations et unités susceptibles de révéler des phénomènes généraux et robustes (compartiments « végétaux », « ruminants et gros herbivores », « monogastriques »... quantifiés en calories, protéines, ou lipides alimentaires) (cf. sections I.2.1.1 et I.2.1.7) ;

(2) la recherche, dans cette base de données que nous aurions aimé plus complète (fourrages annuels, qualité des pâtures, résidus, etc. : cf. supra), de relations statistiques entre productions alimentaires animales et variables susceptibles d'expliquer ces productions ; cette recherche s'est orientée vers l'élaboration de « fonctions de productions » animales (cf. infra).

Après la première étape, nous montrons en particulier que la productivité moyenne du FEED végétal (céréales et tourteaux d'oléagineux en grande partie : cf. section I.2.1.6) est effectivement très variable dans l'espace et le temps, en termes de calories totales (cf. figure 5) ou encore de protéines (cf. figure 6). Simuler à long terme les productions alimentaires animales avec un coefficient fixe relatif à ces seules quantités de facteur présente donc des limites que la seconde étape (fonctions de productions animales) s'attache à dépasser.

(b) Des méta-fonctions de productions animales

En microéconomie, une fonction de production exprime la relation entre les entrants d'une entreprise et sa production. Elle indique, sous forme d'équation ou de graphique, ce que la firme peut produire à partir de différentes quantités et combinaisons d'entrants. De manière générale, une fonction de production s'exprime sous la forme $Q = f(x_1, \dots, x_n)$ où Q est la quantité produite d'un bien, et x_1, \dots, x_n sont des quantités de facteurs de production (travail, capital, consommations intermédiaires...). Cette fonction peut prendre différentes formes (linéaire, quadratique ...Cobb-Douglas, CES...) selon que les rendements marginaux sont très décroissants ou pas, qu'il existe des économies d'échelle ou pas, que les facteurs de production sont très substituables ou pas, etc. Cette forme est précisée par les données et par les aspects de la technologie que l'on veut étudier.

Nous avons cherché à établir des fonctions de production :

- à l'échelle de pays (ou de pays réunis en régions) et non de firmes, ce qui conduit certains auteurs à utiliser le préfixe « méta » ou « *cross-countries* » pour qualifier de telles fonctions ;
- avec des données nationales de panel sur 43 ans (1961-2003) ;
- pour des productions annuelles alimentaires d'origine animale (laits, viandes, œufs...) converties en calories ou protéines (Gkcal) puis regroupées en deux catégories : production de « ruminants » et gros herbivores d'une part (*RUMI*), production de « monogastriques » d'autre part (*MONO*) ;
- avec des facteurs de production ayant tout ou partie servi à ces deux productions alimentaires, facteurs non exhaustifs et plus ou moins bien évalués (*proxies*) chaque année aux échelles nationales : *FEED* d'origine végétale, animale et aquatique (Gkcal de calories totales ou de calories fournies par les protéines uniquement), pâtures (milliers d'hectares), travail humain (milliers d'actifs agricoles), tracteurs (unités), etc.

Nous avons donc cherché à élaborer des fonctions de production multi-produits dont la forme générale est $F(X, Y)=0$, où $X = (x_1, \dots, x_n)$ est le vecteur de facteurs de production, et $Y = (y_1, \dots, y_m)$ le vecteur de produits obtenus avec ces facteurs. Ce type de fonctions va permettre, en particulier, de distinguer la productivité du *FEED* en termes de produits de ruminants d'une part, de produits de monogastriques d'autre part. Par contre, ces fonctions sont plus difficiles à estimer que les fonctions mono-produit lorsque l'allocation des facteurs aux produits est inconnue, comme c'est ici souvent le cas (nous connaissons par exemple les quantités totales de *FEED*, mais pas celles utilisées respectivement par les ruminants et par les monogastriques). L'allocation doit donc être déduite des estimations agrégées, suivant différentes méthodes à disposition [Just et al., 1983], [Mishra, 2007].

Par ailleurs, il existe dans l'estimation de fonction de production des risques importants de biais identifiés dans la littérature, notamment liés à l'endogénéité des facteurs de production. La correction de ces biais nécessite des méthodes d'estimation adaptées, selon la forme fonctionnelle et selon l'utilisation que l'on veut faire de la fonction de production. Nous avons retenu trois méthodes principales d'estimation :

- (i) Un modèle autorégressif qui permet d'éliminer efficacement l'autocorrélation (le terme d'erreur de l'année t est utilisé comme variable explicative de l'année $t+1$) ;
- (ii) Une estimation par les moindres carrés généralisés qui diminue nettement le biais d'hétéroscédasticité, et donne dans la plupart des cas des résultats d'estimation proches du modèle autorégressif ;
- (iii) Différents modèles à effet fixe permettant une correction plus ou moins bonne des biais d'endogénéité.

Les travaux ont conduit à élaborer et tester diverses fonctions de production :

- (a) avec un nombre plus ou moins important de *proxies* sur les facteurs (x_1, \dots, x_n), et des tentatives pour raffiner certains d'entre eux (pâtures en particulier) en les combinant à d'autres variables de la base de données à disposition ;
- (b) avec des unités d'outputs (productions alimentaires animales) et d'inputs (*FEED*) exprimées en calories totales, ou bien en calories issues de protéines uniquement⁴⁴, ceci pour apprécier – en particulier – l'effet « tourteaux d'oléagineux » (soja notamment) qui s'imposent depuis les années 1960 dans les élevages comme compléments en protéines des rations de base ;
- (c) avec ou sans « *trend* » (pour évaluer un « progrès technique »⁴⁵ annuel) ou « *dummies* » de nature temporelle (pour capter la spécificité de certaines années) ou géographique (pour capter des spécificités régionales constantes dans le temps) ;
- (d) avec l'objectif de modéliser des modes de productions à l'échelle de grandes régions (type régions du MEA), ou bien de modéliser des grands modèles de production (types « intensif-industriel », « extensif-agricole », etc.) ; nous parlerons dans le premier cas de « fonctions géographiques » et, dans le second, de « fonctions typologiques » ;
- (e) avec différentes formes fonctionnelles, linéaires et quadratiques en particulier.

Pour la prospective Agrimonde, le choix s'est porté sur des fonctions :

- linéaires ;
- géographiques et, en l'occurrence, pour chacune des 6 régions du MEA (12 à 40 pays par région selon les cas) ;

⁴⁴ Rappel : 1 g de protéines fournit en moyenne 4 kcal.

⁴⁵ Progrès de production inexplicité par les facteurs de production entrés dans la fonction.

- sans *trend* ni *dummies* ;
- utilisant comme unité de travail la calorie issue des protéines ; pour les simulations, les taux de conversion en calories totales sont calés sur les dernières valeurs observées (2003) mais peuvent être modifiés suivant les scénarios imaginés (augmentation/diminution des teneurs en protéines du FEED par exemple) ;
- organisées en un système de deux équations (productions de protéines de ruminants d'une part, de monogastriques d'autre part) comportant trois facteurs explicatifs : les protéines apportées sous forme de FEED (origine végétale et animale), les hectares de pâture, le niveau de production du « substitut » (production protéique de monogastriques ou de ruminants selon les cas).

Ces fonctions permettent de reproduire assez fidèlement l'évolution des productions animales régionales durant plus de 40 années passées (cf. annexe 11). La plupart des autres fonctions élaborées peuvent reproduire encore plus fidèlement ces évolutions passées, ce qui n'était pas ici l'objectif. Pour la prospective Agrimonde, il s'agissait en effet de disposer de fonctions (i) limitant les hypothèses à formuler pour les simulations (Agrimonde est un exercice collectif), (ii) en mesure d'accepter des hypothèses de simulation relativement éloignées des valeurs utilisées pour élaborer chaque modèle (Agrimonde étant un exercice de prospective, il peut par définition être amené à imaginer des mondes très différents de ceux observés dans le passé).

Nous avons retenu ici une forme linéaire pour plusieurs raisons :

- (1) parmi les formes testées, c'est la forme la plus stable aux changements d'échelle géographique⁴⁶ ; une fois la fonction de production estimée avec des données nationales, les coefficients de productivité marginale de chaque facteur valent aussi bien pour le pays d'une région que la région toute entière, ce qui évite, pour les simulations, de formuler des hypothèses pour chaque pays de la région considérée ;
- (2) les coefficients d'estimation peuvent être rapprochés de coefficients physiologiques ; par exemple, un coefficient de 0,2 associé aux calories de FEED signifie qu'une calorie supplémentaire de ce FEED produit 0,2 calorie supplémentaire de la production animale considérée (soit un taux de conversion marginale de 5 calories de FEED par calorie animale) ; ce coefficient est appelée « productivité marginale »⁴⁷ ;
- (3) la forme linéaire est compatible avec une productivité moyenne décroissante du FEED comme on l'observe empiriquement (cf. figure 7)⁴⁸ ; elle est par ailleurs compatible avec une substitution (à taux fixe) des facteurs et une substitution (à taux fixe) des outputs.

La forme générique des fonctions utilisées pour la prospective Agrimonde est présentée ci-après (cf. tableaux 4 et 5), ainsi que leur estimation par les moindres carrés généralisés (cf. tableaux 6 et 7). Pour les simulations, après avoir formulé des hypothèses sur les quantités régionales de FEED et de pâtures à un horizon de temps plus ou moins éloigné, nous résolvons pour chaque région un système à deux équations et deux inconnues (*PROD_RUMI* et *PROD_MONO*). Le résultat de cette procédure respecte les contraintes des deux fonctions de production, mais exclut toute hypothèse de répartition a priori des protéines fournies par les ruminants d'une part, les monogastriques d'autre part, ce que certains exercices de prospective pourraient souhaiter représenter ou tester.

⁴⁶ Plus stable y compris que la forme Cobb Douglas à rendement d'échelle constant.

⁴⁷ Une productivité marginale constante (comme nous l'impose la forme linéaire) est une restriction puisqu'elle ne permet pas de représenter les effets de second ordre. Elle donne en revanche plus de robustesse au modèle.

⁴⁸ Lorsque la valeur du FEED est faible, la production est essentiellement due au terme constant et aux pâtures, et la productivité moyenne du FEED est alors élevée (i.e. le rapport Production / FEED est élevé). A mesure que la part relative du FEED dans la production augmente, sa productivité moyenne diminue (le rapport Production / FEED diminue).

Figure 5 : Input calorique en FEED végétal / Output de calories alimentaires animales (1961-2003)

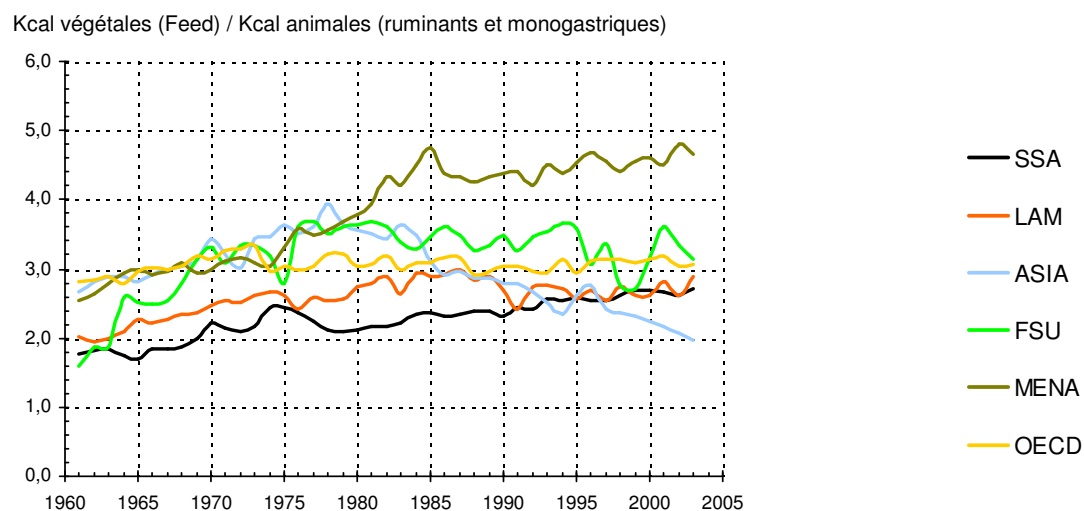


Figure 6 : Input protéique en FEED végétal / Output de protéines alimentaires animales (1961-2003)

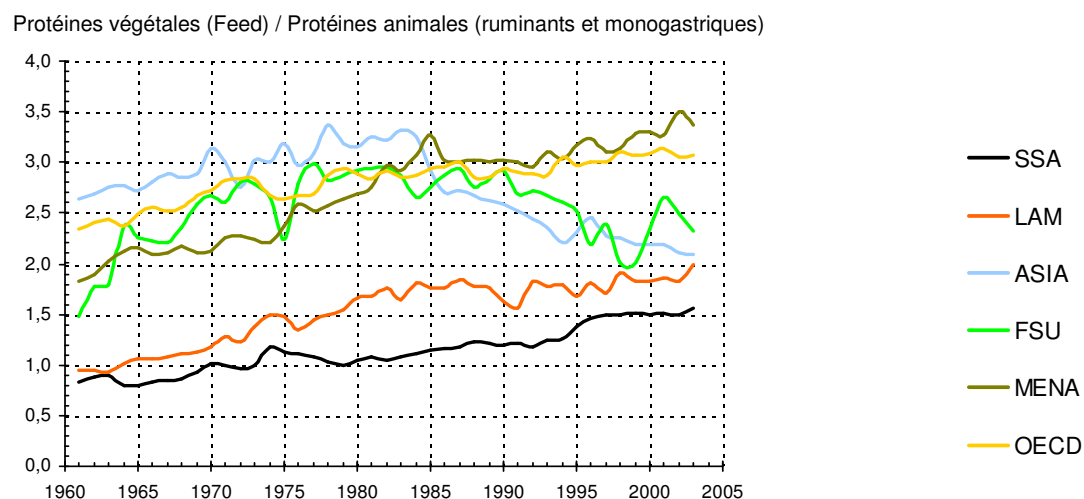


Figure 7 : Productivité moyenne décroissante du FEED (1961-2003)

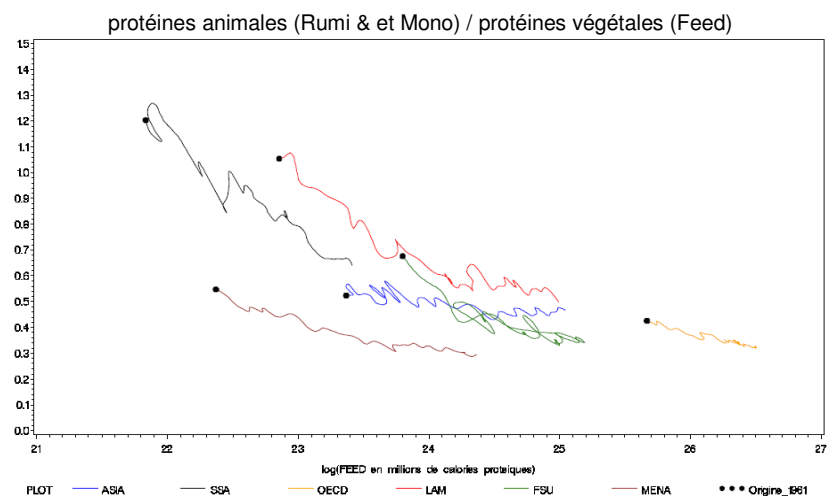


Tableau 4 : Fonctions nationales génériques de productions animales utilisées par Agrimonde

$PROD_RUMI_k = \alpha_0^J + \alpha_1^J FEED_k + \alpha_2^J . PÂTURES_k + \beta^J PROD_MONO_k$	(1)
$PROD_MONO_k = \gamma_0^J + \gamma_1^J FEED_k + \delta^J PROD_RUMI_k$	(2)

Avec :

- k un pays appartenant à la région J
- $PROD_RUMI_k$ la production de protéines alimentaires issues de ruminants et gros herbivores, exprimée en kcal par an, pour le pays k
- $PROD_MONO_k$ la production de protéines alimentaires issues de monogastriques du pays k
- α_0^J le terme constant de la région J obtenu par l'estimation de la fonction nationale type de production de ruminants de la région J
- α_1^J la productivité marginale du FEED (origine végétale et animale) dans la région J , exprimée en kCal de protéines de ruminants ($PROD_RUMI$) par kcal de protéines de feed.
- $FEED_k$ la consommation de FEED du pays k , en kcal d'origine protéique
- α_2^J la productivité marginale des pâtures dans la région J , exprimée en kcal d'origine protéique par hectare de pâture
- $PÂTURES_k$ la surface de prairie permanente du pays k
- β^J le coefficient de substitution entre monogastriques et ruminants dans la région J
- γ_0^J le terme constant de la région J obtenu par l'estimation de la fonction nationale type de production de monogastriques de la région J
- γ_1^J la productivité marginale du FEED (origine végétale et animale) dans la région J , exprimée en kCal de protéines de monogastriques ($PROD_MONO$) par kcal de protéines de feed.
- δ^J le coefficient de substitution entre ruminants et monogastriques dans la région J

Tableau 5 : Fonctions régionales génériques de productions animales utilisées par Agrimonde

$PROD_RUMI_J = \sum_{k \in J} \alpha_0^J + \alpha_1^J \sum_{k \in J} FEED_k + \alpha_2^J . \sum_{k \in J} PÂTURES_k + \beta^J \sum_{k \in J} PROD_MONO_k$	(3)
$PROD_MONO_J = \sum_{k \in J} \gamma_0^J + \gamma_1^J \sum_{k \in J} FEED_k + \delta^J \sum_{k \in J} PROD_RUMI_k$	(4)

Avec :

- J une région constituée de pays k
- $PROD_RUMI_J$ la production de protéines alimentaires issues de ruminants et gros herbivores, exprimée en kcal par an, pour la région J
- $PROD_MONO_J$ la production de protéines alimentaires issues de monogastriques dans la région J

Tableau 6 : Coefficients des fonctions nationales de production animales Rumi utilisées par Agrimonde

	OECD	ASIA	LAM	SSA	FSU	MENA
α_0^J (Intercept)	251075226,1	20528324,9	5903806,83	-2668975,75	42720057,2	19928565,5
α_1^J (FEED)	0,39***	0,17***	0,25***	0,34***	0,26***	0,24***
α_2^J (PÂTURES)	6411***	3000***	12881***	3349***	2758***	4081***
β^J (PROD_MONO)	-1,89***	-0,01***	-0,23***	-0,05***	-0,01***	-0,87***

Tableau 7 : Coefficients des fonctions nationales de production animales Mono utilisées par Agrimonde

	OECD	ASIA	LAM	SSA	FSU	MENA
γ^j (Intercept)	-16343932,5	-295377986	1749430,94	1001663,42	-368017,209	12688321,3
γ^j (FEED)	0,15 ***	0,39***	0,21***	0,18***	0,08***	0,16***
δ^j (PROD_RUMI)	-0,14 ***	-0,53***	-0,05***	-0,05***	-0,01***	-0,29***

*** significatif au seuil de 1%.

I.2.1.9. Interface et simulations interactives

Un objectif important d'Agribiom⁴⁹ est d'aider des débats collectifs sur les productions, échanges et usages passés et à venir de biomasses à l'échelle globale, de favoriser l'émergence de visions ou questions communes sur les évolutions passées et futures. Pour devenir cet outil « médiateur », un soin et un temps importants ont été consacrés à la création d'une interface sous Microsoft Access® (et langage SQL). Cette interface permet, fin 2008, et suivant différentes échelles possibles d'analyse géographique (dont les six régions du MEA) :

- de représenter ou croiser visuellement (graphiques) des grandeurs issues d'un traitement de plusieurs millions de données historiques (cf. sections I.2.1.2 à I.2.1.6, et annexes 3 à 10), notamment les variables ou « paramètres » servant à simuler les productions, échanges et usages de biomasses alimentaires (cf. sections I.2.1.6 à I.2.1.8) ;
- de décrire et tester des modèles élaborés en interne (pour l'instant : fonctions de productions animales), en comparant leurs résultats à ceux observés dans le passé (1961-2003), en modifiant aisément leurs coefficients (productivités marginales en particulier) ou mode de résolution, en visualisant instantanément leurs résultats avec de nouvelles données ;
- de saisir, pour tel ou tel scénario envisagé (ou variantes), des hypothèses de paramètres et de modèles, puis de débattre, retravailler et d'arrêter ces hypothèses en simulant collectivement avec l'interface un équilibre physique global des productions, usages, et échanges de biomasses alimentaires ;
- d'archiver les résultats quantitatifs obtenus avec les hypothèses associées, notamment pour les rendre transparents auprès de tiers, et permettre critiques ou approfondissements des scénarios et hypothèses formulés.

L'interface est concrètement structurée en plusieurs fenêtres ou « domaines de paramètres » (Populations humaines, Consommations alimentaires, Occupations des terres, Productions et productivités alimentaires, Echanges alimentaires, Usages des produits alimentaires, Modèles de productions animales...) qui permettent de visualiser des données historiques dans chacun des domaines concernés, puis d'enregistrer (ou calculer), dans chacun de ces domaines, des valeurs de scénarios (ou variantes de scénarios) à tel ou tel horizon de temps. Une fenêtre particulière permet, en dernier ressort :

- de récapituler, pour chaque région du monde considérée (ici zonage MEA) et à l'horizon de temps choisi, les principales hypothèses de scénario formulées (populations, rations, surfaces...) et leurs implications en termes d'utilisations, productions et échanges nets (en Gkcal/jour) pour les cinq compartiments de biomasses alimentaires (VEGE, AQUA, MARI, RUMI, MONO),
- d'ajuster ces hypothèses pour obtenir un équilibre physique global à l'échelle mondiale, certains ajustements nécessitant l'utilisation d'autres fenêtres/outils de l'interface pour être correctement effectués, notamment en ce qui concerne les productions animales⁵⁰.

⁴⁹ Conception et réalisation : B. Dorin (CIRAD, UMR CIREN), avec la contribution de T. Le Cotty (CIRAD, UMR CIREN) pour les fonctions de productions animales, et les aides ponctuelles de J.-F. Foucher (CIRAD, DSI) pour certaines programmations sous Access/Sql.

⁵⁰ On notera également que dans sa version 2008, l'interface ne permet encore pas d'associer aux hypothèses et aux équilibres physiques obtenus un certain nombre d'évaluations relatives, en particulier, aux consommations induites en énergies ou en eau, aux emplois agricoles, ou encore aux émissions/stockages de GES ; c'était un objectif de départ, et cela demeure un objectif de développement à plus ou moins long terme.

Une simulation via l'interface Agribiom consiste ainsi à illustrer un équilibre (ou un déséquilibre) entre des usages envisagés et des ressources envisagées par région puis globalement. Cette illustration implique, pour chaque région considérée, d'explicitier des hypothèses (i) sur les éléments de notre équation ressources - emplois (cf. section I.2.1.6)⁵¹, (ii) sur les modèles utilisés pour renseigner certains de ces éléments (productions animales en l'occurrence), (iii) sur les échanges internationaux, notamment sur les préférences régionales d'acquisition de ressources à l'extérieur (préfère-t-on importer des aliments pour animaux ou les produits animaux eux-mêmes ? avec de préférence quelle région capable de les fournir ?). Quand l'ensemble de ces hypothèses ne sont pas compatibles, ou que l'on veut simuler l'impact d'une modification de l'une d'entre elles, il faut se doter de critères d'ajustement, qui sélectionnent ce qui varie et ce qui reste fixe, et qui explicitent comment varie ce qui s'ajuste.

Dans un modèle d'équilibre économique tel qu'IMPACT (IFPRI), les règles de l'ajustement sont explicites, et exogènes. Le modélisateur les connaît avant de procéder à une simulation. Elles sont définies par un ensemble d'élasticités et de contraintes sur certaines variables physiques ou économiques qui aboutissent à des fonctions d'offre et de demande. En revanche, les quantités (productions, consommations, surfaces, etc.) et les prix d'équilibre sont généralement endogènes. Une difficulté souvent évoquée de ces modèles réside probablement dans le choix des élasticités, c'est-à-dire des paramètres représentant des réactions des agents aux variations de l'environnement économique : de combien augmente l'offre de blé dans telle région lorsque le prix du blé dans la région augmente de 1% ? de combien diminue la consommation dans telle région si le prix dans cette région monte de 1% ? de combien augmente la consommation de blé dans telle région lorsque le revenu de la région s'élève de 1% ? Ces élasticités tentent de fournir des réactions stéréotypées de la production et de la consommation aux variations de prix ou de variables économiques homogènes aux prix (revenus notamment). Elles ont la grande qualité de rendre possible la réalisation simultanée de nombreux ajustements décentralisés tout en maintenant l'équilibre économique offre-demande. Ainsi, une demande qui serait insatisfaite se traduirait de manière endogène par une hausse du prix qui engendrerait à la fois un accroissement de la production et une baisse de la consommation demandée. L'équilibre de l'offre et de la demande est donc assuré en permanence par l'ajustement des prix, et la demande (solvable) est toujours satisfaite par construction. Mais cette catégorie de modèles n'est pas adaptée pour représenter un monde orienté par la satisfaction de besoins (nécessités)⁵² ; dans ce type de modélisation, ce n'est par exemple pas le manque de nutriments de certaines personnes (insatisfaction d'un besoin) qui accroît la production, mais bien l'insatisfaction de leur demande, qui dépend de leur capacité d'achat, des préférences et de l'information.

Dans les simulations Agribiom, les quantités et autres grandeurs physiques sont exogènes (i.e. choisies par le groupe). A chaque jeu d'hypothèses, on constate un certain déséquilibre, avec sa répartition par région et compartiment de biomasse ; ce déséquilibre est l'information endogène (et pertinente) de la simulation. A partir de ce déséquilibre, il existe une infinité de façons de parvenir à l'ajustement puisque, pratiquement, chaque élément du choix est continu. De ce point de vue, le cheminement proposé par le groupe pour parvenir à l'équilibre, constitué d'une modification par tâtonnement de certains éléments suivant certaines règles⁵³, définit un ensemble de conditions suffisantes pour parvenir à l'équilibre ressources - emplois. Il peut également être intéressant, pour la réflexion, de ne pas équilibrer automatiquement l'économie afin d'exhiber des excédents et des déficits, et débattre collectivement des différentes voies ou conditions pour combler ces déficits. On peut aussi débattre les différentes sources de réponse de la production aux besoins en simulant des extrêmes : un accroissement de besoins peut par exemple engendrer un accroissement des rendements sans accroissement de surface cultivée, ou inversement. Les réponses extrêmes ne sont probablement pas les plus réalistes, mais elles peuvent être utiles à un exercice de prospective.

⁵¹ Variations de stocks exceptés qui, pour la simulation de l'année de base (exemple : 2003) destinée à servir de référence pour l'étude d'autres simulations, sont intégrés dans une rubrique d'usage appelée « Résidu ». Cette rubrique « Résidu » permet également d'intégrer des montants liés à des erreurs ou imprécisions statistiques constatées dans le passé (cf. section I.2.1.6), montants sans lesquels les bilans ne seraient pas parfaitement équilibrés, et sans lesquels les comparaisons de simulations ensuite effectuées seraient biaisées.

⁵² Physiologiques, sociales, environnementales...

⁵³ Exemple : (i) si la région est déficitaire en productions végétales, elle importe les calories végétales nécessaires pour couvrir les besoins alimentaires humains et les calories végétales nécessaires pour l'autosuffisance en production animale ; (ii) les importations proviennent des régions excédentaires dans l'ordre décroissant des quantités excédentaires (les excédents du plus excédentaire sont d'abord exportée, etc.) ; (iii) si les excédents mondiaux ne peuvent couvrir les besoins des régions déficitaires, les variables exogènes choisies par le groupe sont révisées à la hausse (surfaces, rendements...).

Ainsi, la valeur ajoutée de l'interface Agribiom est dans l'apprentissage du rôle de chaque variable, modèle et règles de décision utilisés dans l'établissement d'un équilibre, et non seulement dans l'image finale de l'équilibre ressources - emplois proposé. C'est en cela que l'interface est interactive, et qu'elle ne peut vraiment fonctionner que dans l'interaction.

I.2.2 Rétrospectives 1961-2003

I.2.2.1 Populations humaines

La population humaine a plus que doublé en quatre décennies, passant de 3 milliards d'individus en 1961 à près de 6,2 en 2003, l'équivalent d'une croissance annuelle moyenne de 1,7%. Plus de la moitié de cette population est concentrée en Asie (54% en 2003), région où la croissance démographique (1,9% par an) n'a pourtant pas été la plus élevée (2,6 et 2,7% en Afrique du Nord – Moyen Orient et Afrique subsaharienne) (cf. figure 8). L'Asie accueille dans une plus grande proportion encore les paysans de la planète puisqu'on y dénombre les trois-quarts des actifs agricoles au début des années 2000 (cf. figure 9), soit plus d'un milliard d'individus vivant majoritairement en zones rurales avec leur famille et d'autres actifs dépendant directement du secteur (commerçants, fournisseurs d'intrants agricoles, transformateurs de produits alimentaires, etc.). Cette population active agricole n'a cessé de croître en Asie comme dans la plupart des autres régions (Amérique latine, Afrique du Nord – Moyen Orient et plus encore en Afrique subsaharienne), mais à un rythme nettement plus faible que l'urbanisation des populations (cf. annexe 3). En 2003, une personne sur deux dans le monde vit en ville contre seulement une sur trois au début des années 1960. Mais il existe d'importantes différences régionales : le taux d'urbanisation de la population n'est que de 36% en Asie et Afrique subsaharienne alors qu'il dépasse 75% en Amérique latine et OCDE-1990. Dans cette dernière région la plus peuplée au monde après l'Asie (presque 1 milliard d'habitants en 2003), la population active agricole a été divisée par 3,5 en 42 ans et ne dépasse guère 20 millions de personnes aujourd'hui.

Figure 8 : Populations humaines (1961-2003)

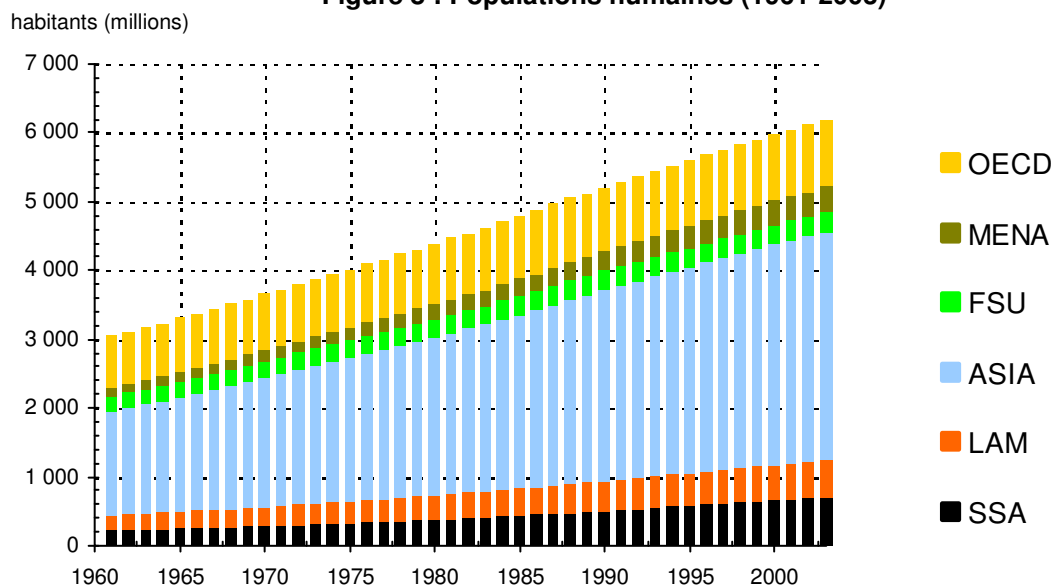
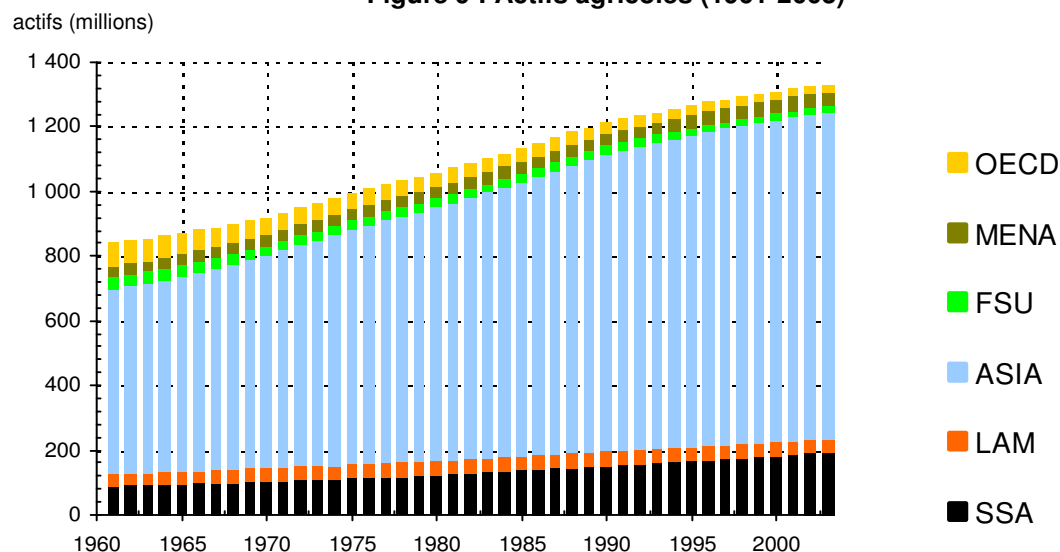


Figure 9 : Actifs agricoles (1961-2003)



I.2.2.2 Consommations alimentaires

Entre 1961 et 2003, les populations humaines doublent leur effectif et multiplient par 2,5 leur consommation alimentaire en calories, consommation qui avoisine 19 000 Gkcal/jour au début des années 2000. Ainsi, à l'échelle mondiale, la consommation apparente par personne⁵⁴ passe d'un peu moins de 2500 kcal/jour en 1961 à un peu plus de 3000 en 2003. Mais ces données masquent d'importantes disparités, entre régions du monde, entre pays de ces régions, et, au sein de ces pays, entre (et au sein...) des ménages. A l'échelle des régions du MEA, la disponibilité journalière moyenne avoisine 4000 kcal par personne en 2003 en OCDE-1990 mais ne dépasse toujours pas 2500 kcal en Afrique subsaharienne (cf. figure 10). L'examen de ces différences révèle qu'elles peuvent en grande partie être attribuées à des consommations plus ou moins importantes de produits animaux (laits, viandes, œufs...) : ces derniers apportent près de 1200 kcal sur 4000 (30%) en OCDE-1990, alors qu'à l'autre extrême, en Afrique subsaharienne, ils ne contribuent qu'à une hauteur d'environ 135 kcal sur 2400 (moins de 6%) (cf. figure 11 et annexe 4). Les produits animaux étant particulièrement riches en protéines (viandes, œufs...) et/ou lipides (beurre, crème...), les différences régionales de disponibilité alimentaire s'avèrent particulièrement prononcées pour ces deux macronutriments ; selon nos estimations, en 2003 :

- 125 g/j/pers. de protéines en OCDE-1990 (dont 60% d'origine animale) contre 60 g en Afrique subsaharienne (dont 20% animales),
- 165 g/j/pers. de lipides (dont 55% d'origine animale) en OCDE-1990 contre 48 g en Afrique subsaharienne (dont 20% animales).

⁵⁴ FOOD / POPU : définitions cf. section I.2.1.6 ; cette grandeur est souvent appelée « disponibilité alimentaire ».

Figure 10 : Calories alimentaires disponibles pour l'alimentation (1961-2003)

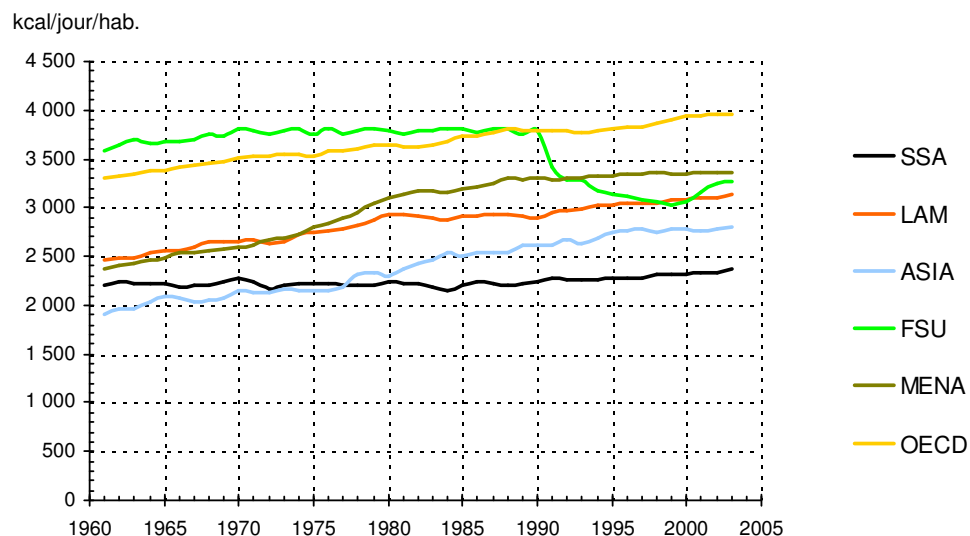
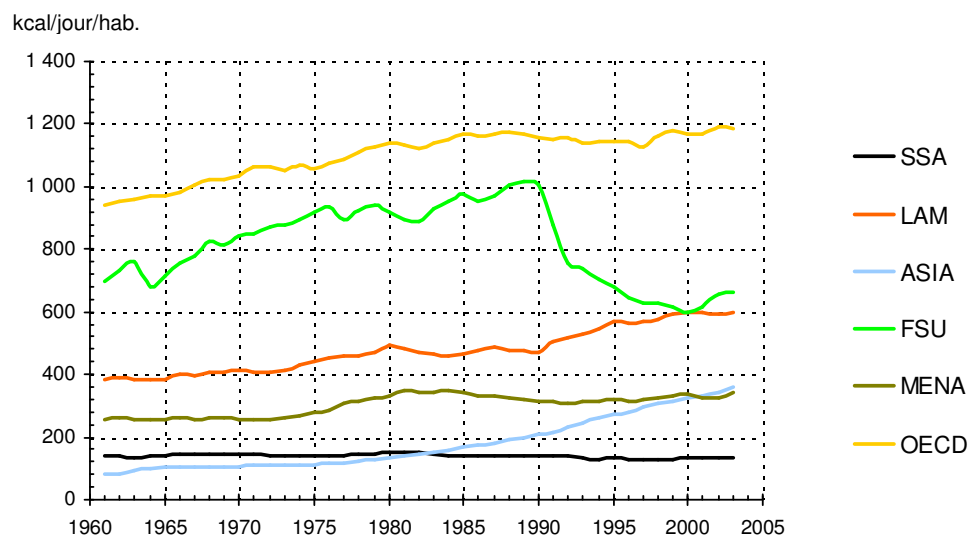


Figure 11 : Calories alimentaires animales disponibles pour l'alimentation (1961-2003)



I.2.2.3. Occupation des terres

L'essentiel de la surface du globe est couvert d'eaux de mers et d'océans, avec une petite partie de profondeur inférieur à 200 mètres où se concentrent les espèces marines et la pêche : les plateaux continentaux, d'une surface globale avoisinant 2,4 milliards d'hectares. Ces plateaux annoncent des continents d'une superficie supérieure à 13 milliards d'hectares. L'occupation de cette superficie terrestre n'est pas objet de statistiques précises et concordantes (cf. sections I.2.1.4 et I.2.1.5), mais avec les données et pays considérés (cf. section I.2.1.2), en 2003, près de 30% sont couverts en forêts ($\approx 3,9$ Gha), plus de 25 % en pâtures ($\approx 3,4$ Gha), presque 12% en cultures ($\approx 1,5$ Gha), un peu plus de 3% en eaux douces ($\approx 0,4$ Gha : lacs, rivières...), le solde s'élevant à 30% ($\approx 3,9$ Gha) : zones désertiques à différentes altitudes et, dans une moindre mesure, zones artificialisées (résidences, industries, routes...). Entre 1961 et 2003, ce sont les surfaces cultivées qui ont connu le plus fort taux de croissance annuel (+0,29% par an, avec environ +175 Mha sur la période), suivies des surfaces en pâtures (+0,25%, +330 Mha) puis en eaux douces (+0,21%, +35 Mha). Ces croissances de surfaces se sont effectuées d'abord au détriment des forêts (−0,23% par an) avec approximativement 400 Mha perdus en 43 ans (cf. annexe 5). A l'échelle des régions du MEA, l'extension des surfaces cultivées (cf. figure 12) a été particulièrement prononcée en Amérique latine (+1,13% par an), Afrique subsaharienne (+0,81%) et Asie (+0,54%), les deux premières zones

n'exploitant pas 20% de leur potentiel cultivable (cf. annexe 6) alors que ce taux dépasse 80% en Asie depuis 1985 (100% en Afrique du Nord – Moyen Orient depuis 1990) (cf. figure 13). En OCDE-1990 et surtout Ex-URSS, les surfaces cultivées ont diminué au contraire (de respectivement, - 0,06% et -0,41% par an). Avec une diminution conjointe du nombre d'actifs agricoles, la surface cultivée par actif dépasse 10 ha en Ex-URSS et approche 20 ha en OCDE-1990 (2003), alors qu'elle est inférieure à 4 ha ailleurs, voire 0,5 ha en Asie (cf. figure 14).

Figure 12 : Surfaces agricoles cultivées (1961-2003)

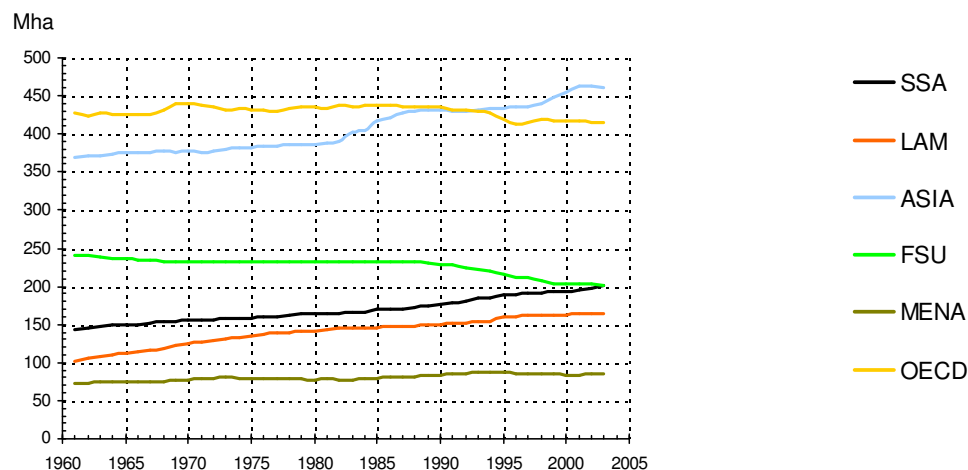


Figure 13 : Taux de mise en culture des surfaces potentiellement cultivables (1961-2003)

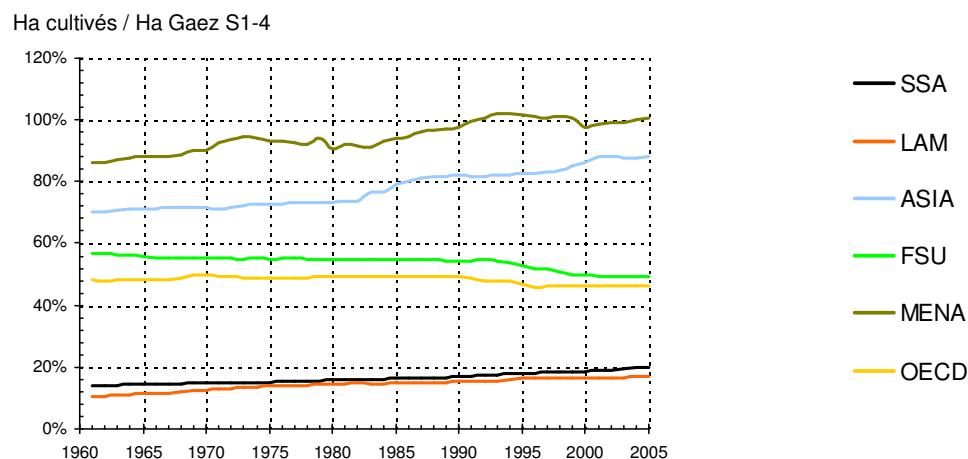
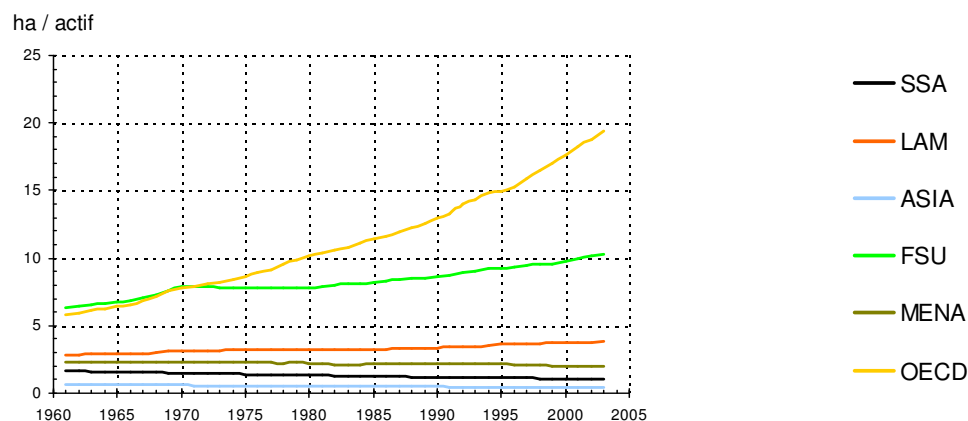


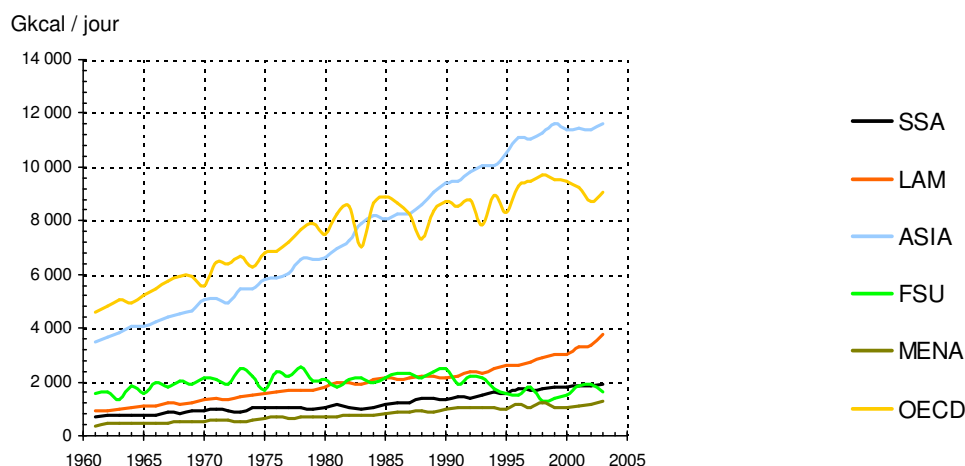
Figure 14 : Surface agricole cultivée par actif agricole (1961-2003)



I.2.2.4. Productions et productivités alimentaires

Selon nos estimations avec les données à disposition (cf. section I.2.1.6), la production mondiale brute⁵⁵ de produits alimentaires avoisine 33 200 Gkcal/jour en 2003, avec 62% de cette énergie venant de glucides (≈ 1883 Mt en 2003), 24% de lipides (≈ 322 Mt) et 14% de protéines (≈ 420 Mt). Entre 1961 et 2003, cette production calorique a été multipliée par 2,5⁵⁶ (Annexe 7) sans bouleversement significatif dans la part d'origine végétale, animale ou aquatique de ces calories. Le rang des régions productrices a par contre changé en quatre décennies. Durant les années 1980, pour les productions végétales, l'Asie devient première productrice mondiale au lieu de l'OCDE-1990 (qui demeure par contre première productrice de produits animaux), et l'Amérique latine arrive en troisième en place de l'Ex-URSS dont la production alimentaire avoisine désormais celle de l'Afrique subsaharienne (cf. figure 15). Ces augmentations de production sont liées à une extension des surfaces cultivées (cf. section I.2.2.3), mais aussi – et avec plus d'importance – à une augmentation des calories alimentaires extraites par hectare cultivé. A l'échelle mondiale, cette production par hectare cultivé (en cultures alimentaires ou non) a été multipliée par plus de 2,2 entre 1961 en 2003, passant de 8 610 à 19 190 kcal/ha/jour (9 à 21 quintaux/an en équivalent blé), niveaux qui demeurent plus de 100 fois supérieurs à ceux des espaces aquatiques qui ne sont globalement pas « cultivés » par l'homme (cf. annexe 8). Cette croissance de la production alimentaire terrestre par hectare cultivé s'explique principalement par des croissances de rendements⁵⁷ par récolte et par année (multiplication du nombre de récoltes par an), croissances permises par des facteurs de production apportés en plus grande quantité et/ou mieux combinés ou maîtrisés (eau, engrais, semences, lutte contre les ravageurs, mécanisation, etc.). C'est aujourd'hui en Asie que la production de calories alimentaires par hectare cultivé est, en moyenne régionale, la plus élevée au monde (plus de 25 000 kcal/ha/jour). C'est là aussi qu'elle a aussi le plus fortement progressé entre 1961 et 2003 (+2,35% par an) après l'Afrique du Nord – Moyen Orient (+2,7%), et avant l'Amérique latine (+2,25%), l'OCDE-1990 (+1,7%), l'Afrique subsaharienne (+1,55%) et l'Ex-URSS (+0,5%) (cf. figure 16). En OCDE-1990, la croissance de la production alimentaire par hectare cultivé s'est accompagnée d'une multiplication par près de 7 de la production alimentaire par actif (presque 425 000 kcal/j en moyenne régionale 2003, contre moins de 90 000 pour les autres régions : cf. figure 17), envolée permise par la poursuite de l'exode agricole (cf. figure 9), l'extension des surfaces cultivée par actif (cf. figure 14), et une très importante motorisation (tracteurs, moissonneuses, etc.) substituant des forces de travail humaines et animales.

Figure 15 : Productions alimentaires végétales (1961-2003)



⁵⁵ Produits végétaux, animaux et aquatiques confondus ; certains servant à la production des autres (concentrés végétaux pour animaux par exemple), une telle addition de produits demeure délicate, tout comme l'établissement d'une comptabilité nette.

⁵⁶ Par 2,3 pour les glucides, 2,7 pour les protéines et 3,0 pour les lipides.

⁵⁷ Plutôt que par une croissance – au sein des espaces cultivés – des surfaces de productions alimentaires au détriment des surfaces de productions non-alimentaires (fibres, caoutchouc, tabac... cultures fourragères).

Figure 16 : Productions alimentaires végétales par hectare agricole cultivé (1961-2003)

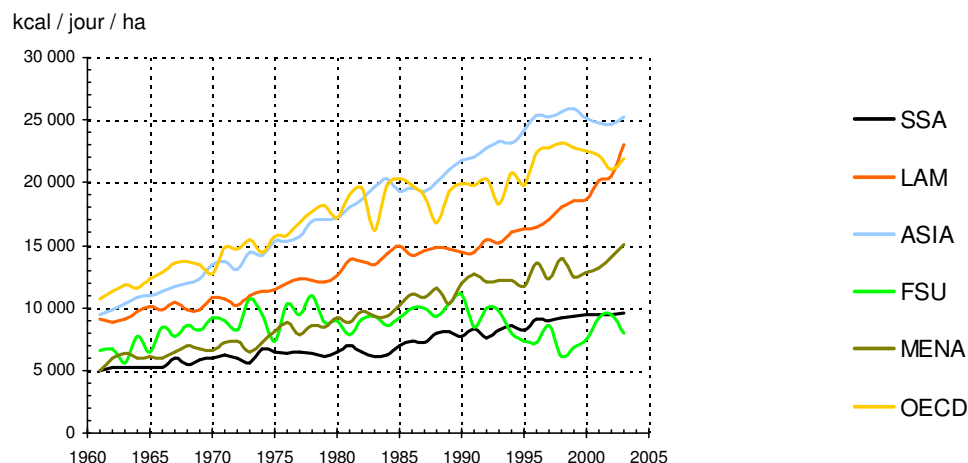
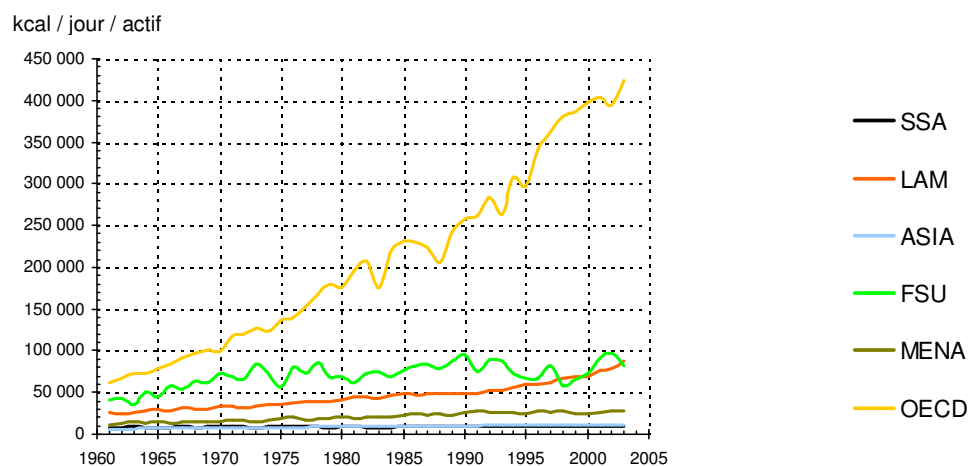


Figure 17 : Productions alimentaires végétales par actif agricole (1961-2003)



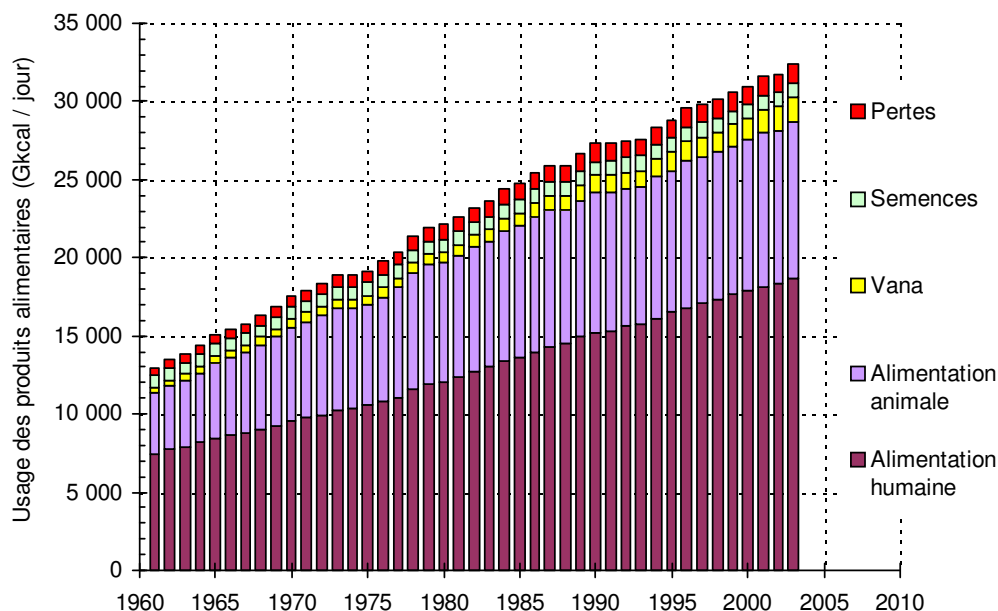
I.2.2.5 Usages des produits alimentaires

La consommation mondiale brute⁵⁸ de calories alimentaires avoisine 33 000 Gkcal/jour en 2003, l'équivalent du montant de leur production (cf. section I.2.2.4) aux imperfections statistiques et variations de stock près (cf. section I.2.1.6). Comme pour les productions, plus de 88% de ce montant provient de produits végétaux, près de 11% de produits animaux (terrestres) et moins de 1% de produits aquatiques (essentiellement animaux). Ces calories sont orientées vers divers usages après qu'une partie soit perdue entre la production et la mise à disposition aux unités économiques ($\approx 4\%$ en 2003) (cf. figure 18). Parmi ces usages figurent les semences et autres formes destinées à la reproduction des productions ($\approx 3\%$), ainsi que des valorisations agricoles non-alimentaires ($\approx 5\%$: lubrifiants, cosmétique, biocarburants...). L'essentiel demeure cependant utilisé pour alimenter les hommes et les animaux, dans des proportions très variables selon les régions pour les produits végétaux (cf. annexe 9, Planche A). Ainsi, en Afrique du Nord – Moyen Orient et en Asie, plus de 70% des disponibilités végétales de 2003 servent à l'alimentation directe des hommes, alors que ce taux tombe à moins de 35% en OCDE-1990, région qui consacre depuis longtemps à l'alimentation des animaux plus de 55% de ces disponibilités. Cette part des calories végétales alimentaires orientée vers l'alimentation des animaux tend à augmenter depuis le début des années 1960 en Amérique latine, en Afrique du Nord – Moyen Orient et en Asie où elle se situe désormais entre 20 et 40% (cf. annexe 9, Planche B), suivant des modalités par ailleurs modélisées

⁵⁸ Produits végétaux, animaux et aquatiques confondus ; certains servant à la production des autres (concentrés végétaux pour animaux par exemple), une telle addition de produits demeure délicate, tout comme l'établissement d'une comptabilité nette.

(cf. section I.2.1.8). La part des calories végétales alimentaires orientée en VANA tend également à augmenter dans la plupart des régions, plus particulièrement depuis les années 1990, notamment en Amérique latine et OCDE-1990 où elle dépasse désormais plus de 5%.

Figure 18: Usages mondiaux des produits alimentaires (1961-2003)



I.2.2.6 Commerce alimentaire

En quatre décennies, le commerce mondial de produits alimentaires s'est fortement développé puisque les échanges dépassent 7000 Gkcal/jour en 2003 (92% issues de végétaux, 6% d'animaux terrestres, 2% de milieux aquatiques) contre moins de 1500 en 1961. Ces ordres de grandeurs témoignent d'une dépendance accrue des nations au commerce international, avec une croissance parallèle des transports à base d'énergies fossiles. Durant la période, le sens du commerce international de calories alimentaires a également beaucoup évolué. L'observation des soldes nets d'échange par région du MEA (Exports totaux – Imports totaux, cf. section I.2.1.6) (cf. figure 19), et la mise en rapport de ces soldes avec les consommations régionales (cf. figure 20 et annexe 10), permettent de conclure sur au moins 5 points :

- (1) la zone OCDE-1990, grande consommatrice de calories alimentaires, est aussi devenue une importante exportatrice de calories alimentaires, végétales et animales ;
- (2) l'Amérique latine, traditionnellement exportatrice nette de calories alimentaires (produits oléagineux et sucriers avant tout), a conforté sa position alors qu'elle augmentait parallèlement la disponibilité calorique moyenne par habitant ;
- (3) l'Asie conserve une relative indépendance en calories alimentaires (équilibre entre les exports et les imports) alors que la disponibilité régionale par personne a également augmenté, et que la population est passée de 1,5 à près de 3,4 milliards d'individus entre 1961 et 2003 ;
- (4) les recettes d'exportations de la région Afrique du Nord – Moyen Orient (MENA) permettent à cette dernière d'importer et consommer une quantité croissante de calories alimentaires, y compris pour nourrir et élever localement des animaux ;
- (5) en Afrique subsaharienne, les productions locales et les quantités nettes importées, bien que croissantes, n'ont pas été suffisamment élevées pour augmenter sensiblement la disponibilité calorique par personne qui demeure la plus basse au monde (cf. figure 10).

Figure 19 : Solde Exports-Imports de produits alimentaires (1961-2003)

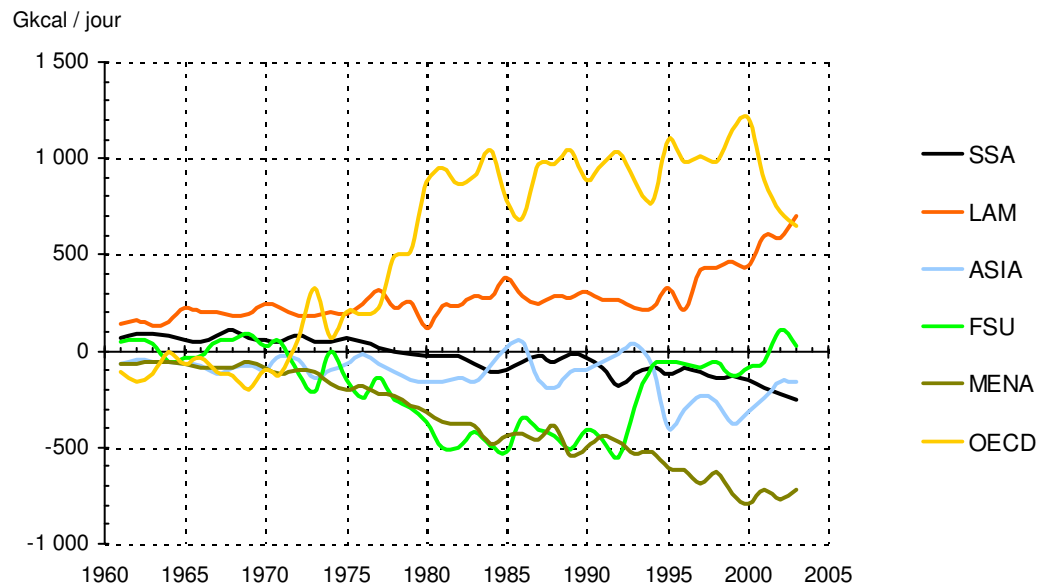
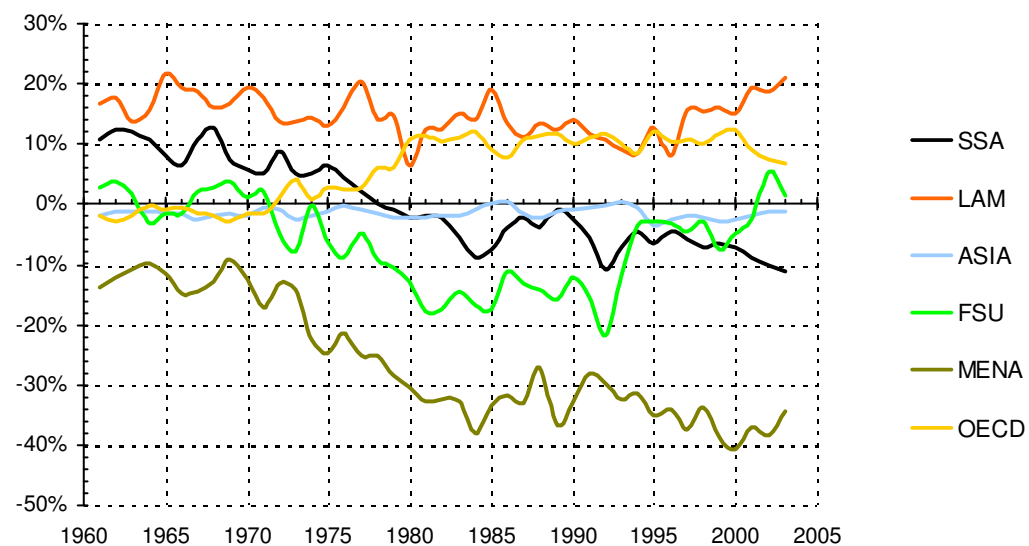


Figure 20 : Solde Exports-Imports (kcal) / Usages (kcal) de produits alimentaires (1961-2003)



Bibliographie de la partie I

- [Agence Européenne de l'Environnement, 2001]** : Agence européenne de l'environnement, 2001, « Scenarios as Tools for International Environmental Assessments », *Environmental issue Report*, 24.
- [Banque mondiale, 2008]** : Banque mondiale, 2008, *Rapport sur le développement dans le monde, L'Agriculture au service du développement – Abrégé*, 27p.
- [Bouwman et al., 2005]** : Bouwman A.F., Hoek K.W.V.d., Eickhout B. et al., 2005, « Exploring changes in world ruminant production systems », *Agricultural Systems*, 84, 121-53.
- [Brown, 1995]** : Brown L., 1995, *Who Will Feed China?: Wake-Up Call for a Small Planet*, W. W. Norton & Company, 168 p.
- [Carpenter et al, 2005]** : Carpenter S. R., Pingali P. L., Bennett E. M., Zurek M. B. (eds.), 2005, *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios, Volume 2, The Millennium Ecosystem Assessment*, Washington DC, 73-448, <<http://www.millenniumassessment.org/en/Products.Global.Scenarios.aspx>>.
- [Collomb, 1999]** : Collomb P., 1999. *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050*, Economica, Paris, 197 p.
- [Commissariat général du Plan, 2004]** : Commissariat général du Plan, 2004, « La méthode des scénarios, outils d'une démarche prospective », *Les dossiers d'Aleph*, 1.
- [Cosgrove et Rijsberman, 2000]** : Cosgrove W. J. et Rijsberman F. R., 2000, *L'eau : L'affaire de tout le monde*, World Water Vision, pour le Conseil mondial de l'eau, Earthscan Publications Ltd, London.
- [De Jouvenel, 1999]** : De Jouvenel H., 1999, « La démarche prospective : un bref guide méthodologique », *Futuribles*, 47-48.
- [Deaton et Dreze, 2008]** : Deaton A., Dreze J., 2008, « Nutrition In India: Facts and Interpretations », Disponible : <http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1135253>.
- [Delgado et al., 1999]** : Delgado C., Rosegrant M., Steinfeld H. et al., 1999. "Livestock to 2020. The Next Food Revolution", *Discussion Paper 28*, IFPRI, FAO, ILRI, Washington DC., 83 p.
- [Devendra et Sevilla, 2002]** : Devendra C., Sevilla C.C., 2002. « Availability and use of feed resources in crop-animal systems in Asia », *Agricultural Systems*, Volume 71, Number 1, January 2002 , pp. 59-73
- [Dorin, 1999]** : Dorin B., 1999, « Food Policy and Nutritional Security. The Unequal Access to Lipids in India », *Economic and Political Weekly*, 34(26), 1709-1717.
- [FAO et IIASA, 2000]** : FAO, IIASA, 2000, *Global Agro-Ecological Zones*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Institute for Applied Systems Analysis, <<http://www.fao.org/AG/agL/agll/gaez/index.htm>> (22/06/2007).
- [FAO, 2002]** : FAO, 2002, *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030 – Rapport Abrégé*, 97 p..
- [FAO, 2003.a]** : FAO, 2003, *Food Balance Sheet. A Handbook*, Food and Agricultural Organization of the United Nations, <<http://www.fao.org/docrep/003/X9892E/X9892E00.HTM>>.
- [FAO, 2006]** : FAO, 2006, Faostat, Internet web portal and database as on 30 June 2006, Food and Agricultural Organization of the United Nations, <<http://faostat.fao.org/site/395/default.aspx>> (30/06/2006).
- [Fischer et al., 2000]** : Fischer G., Velthuisen H.v., Nachtergaele F.O., 2000, *Global Agro-Ecological Zones Assessment: Methodology and Results*, Interim Report 00-064, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, November, 338 p.
- [Fischer et al., 2001]** : Fischer G., Shah M., Velthuisen H.v. et al., 2001, *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century*, International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, 44 p.
- [Fischer et al., 2002]** : Fischer G., Velthuisen H.v., Shah M. et al., 2002, *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results*, Research Report RR-02-02, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, March, 154 p.
- [GIEC, 2000]** : GIEC, 2000, *Scénarios d'émissions : Résumé à l'intention des décideurs*, Rapport spécial du Groupe de travail III du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, OMM – PNUE, 22 p.
- [Griffon, 2006]** : Griffon M., 2006, *Nourrir la planète – Pour une révolution doublement verte*, Odile Jacob, 455 p.
- [Just et al., 1983]** : Just R.E., Zilberman D., Hochman E., 1983, « Estimation of Multicrop Production Functions », *American Journal of Agricultural Economics*, 65 (4), 770-80.

- [Koning et al., 2008]** : Koning N.B.J., Ittersum M.K. van, Beex G. A., Boekel M.A.J.S. van, Brandenburg W.A., Broek J.A. van den, Goudriaan J., Hofwegen G. van, Jongeneel R.A., Schiere J.B., Smies M., 2008, « Long-term global availability of food: continued abundance or new scarcity? », *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences*, 55 (3), 229 – 292.
- [Luyten, 1995]** : Luyten J. C., 1995, *Sustainable World food production and environment*, Internal Report AB-DLO. 127 pp. plus 17 appendices, Wageningen, Netherlands.
- [Malassis et Padilla, 1986]** : Malassis L., Padilla M., 1986, *Economie agro-alimentaire. L'économie mondiale (III)*, Cujas, Paris, 449 p.
- [Mc Calla et Revoredo., 2001]** : McCalla A. F. et Revoredo C. L., 2001, "Prospects for global food security - A Critical Appraisal of Past Projections and Predictions", IFPRI, *Discussion paper 35*, Washington, DC.
- [Meadows et al., 1972]** : Meadows D. H., Meadows D. L., Randers J. et Behrens III W. W., 1972, *Halte à la croissance ?*, rapport au Club de Rome, Fayard, Paris.
- [Mishra S., 2007]** : Mishra S., 2007, "A Brief History of Production Functions", *MPRA Paper 5254*, North-Eastern Hill University, Shillong (India), 09 October, 23 p.
- [PNUE, 2007]** : PNUE, 2007, *GEO-4 : L'avenir de l'environnement mondial*, Nairobi, <www.unep.org/geo/geo4/>.
- [Rosegrant et al., 2001]** : Rosegrant M. W., Paisner M. S., Meijer S., Witcover J., 2001, *Global food projections to 2020 – emerging trends and alternative futures*, IFPRI, 206 p.
- [Sebillote, 2001]** : Sebillote M. (Dir.), 2001, *Les protéines végétales et animales : enjeux de société et défis pour l'agriculture et la recherche*, Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, 195 p.
- [Smeets et al., 2007]** : Smeets E.M.W., Faaij A.P.C., Lewandowski I.M. et al., 2007, « A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050 », *Progress in Energy and Combustion Science*, 33, 56-106.
- [Steinfeld et al., 2006]** : Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T. et al., 2006, *Livestock's long shadow environmental issues and options*, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 407 p.
- [USDA, 2006]** : USDA, 2006, USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Release 19, U.S. Department of Agriculture, <<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>> (20/08/2007)
- [Wirsenius, 2003]** : Wirsenius S., 2003, « Efficiencies and biomass appropriation of food commodities on global and regional levels », *Agricultural Systems*, 77, 219–55.

PARTIE II
AGRIMONDE 1 ET AGRIMONDE GO : EXPLORATION
PROSPECTIVE

Cette partie s'attache à retracer le chemin suivi par le groupe de travail dans son exercice d'exploration prospective :

- En partant de l'analyse des scénarios du MEA et des états possibles du monde qu'ils décrivent, le groupe de travail a d'abord pu définir les principes de construction d'un nouveau scénario, Agrimonde 1, qu'il a choisi de comparer au scénario *Global Orchestration* du MEA (chapitre II.1).
- Il a ensuite procédé à la quantification, région par région, des emplois (populations et consommations alimentaires) et ressources (surfaces et rendements) des scénarios Agrimonde (chapitre II.2) afin de pouvoir renseigner les états régionaux des équilibres ressources-emplois agricoles des scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO (chapitre II.3).
- Enfin, l'analyse de la cohérence des micro-scénarios quantitatifs régionaux des deux scénarios ainsi que leur confrontation ont permis de préciser les facteurs d'évolution les caractérisant (chapitre II.4) et d'aboutir à des récits de scénarios complets pour 2050 (chapitre II.5).

II.1 Des scénarios du MEA aux principes de construction du scénario Agrimonde 1

Sandrine Paillard, Tévécia Ronzon, Sébastien Treyer

Le groupe de travail s'est appuyé sur les visions de l'avenir portées par les scénarios du MEA pour construire un scénario de rupture, qu'il a nommé Agrimonde 1. En outre, il a souhaité reconstruire de façon complète un scénario du MEA en calculant les équilibres ressources - emplois agricoles le caractérisant sur la base des hypothèses de consommation, de rendements et d'usage des sols faites par les experts du MEA. Il a retenu *Global Orchestration*, qui apparaît en effet comme un scénario de comparaison et de confrontation tout à fait fructueux puisqu'il est le scénario du MEA dans lequel le monde parvient le mieux à réduire la pauvreté. En outre, ce scénario repose sur des hypothèses relativement tendanciellées en matière de consommation alimentaire et optimistes en matière de progrès des rendements agricoles, se différenciant ainsi nettement du scénario Agrimonde 1. Ce scénario est ici appelé Agrimonde GO, non seulement parce qu'il est reconstruit sur la base de la méthode de quantification adoptée dans Agrimonde mais aussi car les hypothèses de population retenues pour ce scénario ne sont pas celles envisagées dans le MEA. En effet, pour réellement confronter le scénario Agrimonde 1 à un autre scénario, il a semblé important au groupe de travail de faire les mêmes hypothèses de 'pression démographique' dans les deux scénarios.

Sont présentés, dans un premier temps, les principes de construction des scénarios du MEA et les états possibles du monde qu'ils décrivent (II.1.1), et dans un deuxième temps, les principes de construction du scénario Agrimonde 1 (II.1.2).

II.1.1 Les scénarios du Millennium Ecosystem Assessment

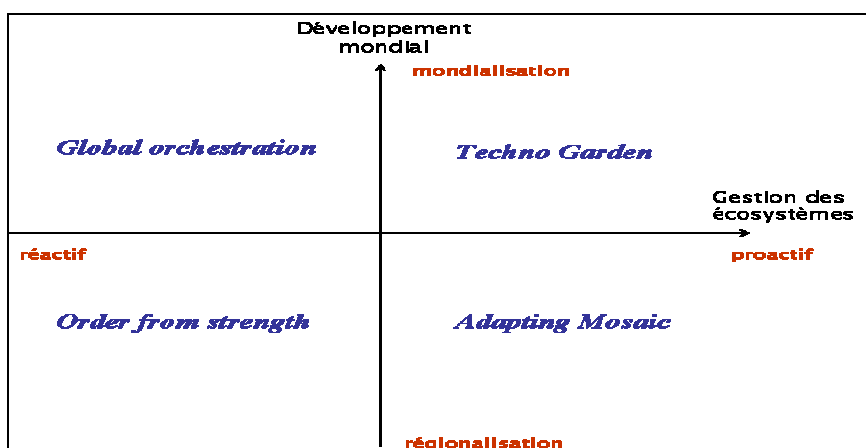
Le *Millennium Ecosystem Assessment* (Evaluation des Ecosystèmes pour le Millénaire), vaste opération d'évaluation et de prospective internationale, lancée par l'ONU en juin 2001, s'est déroulée pendant quatre ans et a mobilisé plus de 2 000 personnes, experts essentiellement, issus de 95 pays. Les travaux, fondés sur les résultats issus de plusieurs disciplines scientifiques (sciences naturelles, écologie, économie, sociologie), ont abouti à la publication de plusieurs rapports d'évaluation destinés aussi bien aux responsables politiques qu'aux acteurs de la société civile, au monde des affaires et de l'industrie comme aux organisations non gouvernementales⁵⁹. Le MEA avait pour objectif d'« évaluer les conséquences du changement des écosystèmes sur le bien-être humain et d'établir des bases scientifiques pour les actions nécessaires à l'amélioration de la conservation et de l'utilisation durable des écosystèmes, ainsi que de leurs apports au bien-être

⁵⁹ Les rapports du MEA sont consultables sur le site Internet du MEA : www.millenniumassessment.org.

humain » [Watson, 2006]. Différentes échelles géographiques - planétaire, régionale, nationale, locale et celle des bassins versants - sont prises en compte et articulées les unes aux autres. Neuf écosystèmes sont distingués et analysés, l'état de tous les écosystèmes, des plus « anthropisés » aux plus préservés, étant ainsi étudié et évalué.

A côté du travail d'évaluation, les experts ont construit quatre scénarios, présentant des évolutions sur trois périodes : 2000-2015, 2015-2030 et 2030-2050, sur la base de données établies pour 2050, et le cas échéant, de courbes d'évolution des tendances prolongées jusqu'à 2100. Les scénarios du MEA se différencient, d'une part, par leur cadre géopolitique (régionalisation versus mondialisation) et, d'autre part, par le caractère respectivement proactif ou réactif des politiques et régulations relatives à la protection des écosystèmes (cf. figure 21). Ils se caractérisent par des priorités sociétales différentes notamment en termes de réduction de la pauvreté et de protection des écosystèmes et des ressources naturelles (cf. encadré 2).

Figure 21 : Les axes de différenciation des scénarios du MEA



Source : Carpenter et al., 2005

Encadré 2 : Les scénarios du MEA

« GLOBAL ORCHESTRATION » : une société mondialement connectée dans laquelle la croissance économique prime.

La mondialisation règne en maître et s'épanouit dans tous les domaines ; elle rime avec croissance économique et commerce international, qui ne connaît plus l'entrave des frontières. Dans ce monde caractérisé par la libéralisation, les pays coopèrent aisément, afin d'améliorer le bien-être social et économique de toutes les populations, mais aussi de protéger et de mettre en valeur les services et les biens publics mondiaux (éducation, santé, infrastructures, technologies...). Les conditions sont remplies pour que les problèmes environnementaux, tels que le changement climatique, soient traités au niveau mondial, grâce à la coopération internationale. Mais comme le souci de l'environnement passe en second, après d'autres priorités – croissance économique et sociale, amélioration du bien-être matériel des hommes – les problèmes environnementaux qui menacent le bien-être humain (pollution, érosion, changement climatique) ne sont pris en considération que lorsqu'ils deviennent aigus. Comme les institutions internationales ont une approche réactive de la gestion des écosystèmes, elles sont prises au dépourvu par les événements survenant en raison d'interventions différées ou par des changements régionaux imprévus. La société a confiance dans le fait que la connaissance et la technologie nécessaires pour faire face aux enjeux environnementaux se développeront si nécessaire, comme cela le fut dans le passé. Le scénario met en lumière les risques de "surprises" écologiques, dans un tel contexte, comme par exemple, l'émergence de maladies infectieuses. Ce scénario qui, des quatre scénarios du MEA, se caractérise à la fois par le plus faible accroissement de la population mondiale et la plus forte croissance économique, ainsi que le plus fort taux de développement technologique, présente aussi la plus forte progression des revenus et les plus grands progrès en matière d'équité.

« ORDER FROM STRENGTH » : Un monde fragmenté dans lequel la préservation de la sécurité nationale passe au premier plan.

Le rejet de la mondialisation, perçue comme une source d'instabilité et de menace, conduit à un cloisonnement entre les régions du monde, propice à l'exacerbation des tensions entre pays et susceptible de produire des reconfigurations des alliances passées. Dans le monde de ce scénario, le repli national domine, commandé par le souci de préserver la sécurité militaire et économique des pays. Chacun privilégie la défense et la sauvegarde de son intérêt, meilleur moyen de se protéger contre l'insécurité, notamment économique. Habitée par un pessimisme partagé au sujet des relations internationales et mue par un même besoin de protection, les nations se préoccupent avant tout du maintien de leur sécurité, de leur accès aux ressources et du bien-être de leur peuple. La stagnation de l'économie représente un facteur de renforcement du cloisonnement ; celui-ci peut se manifester aussi bien par un échec de l'OMC, que par l'apparition d'une fracture numérique entre pays comme au sein de ceux-ci. Comme dans « *Global Orchestration* », les préoccupations environnementales sont secondaires eu égard à d'autres enjeux considérés comme prioritaires. Le faible intérêt porté aux biens publics mondiaux s'accompagne d'une approche individualiste et réactive dans la gestion des écosystèmes, qui ne font au mieux l'objet que d'une attention locale. Prévaut la croyance en la capacité des hommes à trouver les solutions technologiques nécessaires pour résoudre les problèmes environnementaux, lorsqu'ils viendront à se poser. Pourtant, l'absence de coopération internationale laisse présager une forte détérioration de l'environnement, donnant lieu à des dommages irréversibles.

« ADAPTING MOSAIC » : Un monde décentralisé et hétérogène, une mosaïque de stratégies locales de gestion des écosystèmes.

La prévalence du régional et du local, résultant de la méfiance à l'égard de la mondialisation, confère au monde l'aspect d'une "mosaïque" disparate. Par-delà la diversité des institutions, des systèmes de gouvernance et des formes de gestion, dans tous les domaines, politique comme économique et environnemental, le renforcement des pouvoirs locaux et de la société civile constitue le trait commun à toutes les régions. Le rôle prépondérant joué par les différents acteurs de la société civile – notamment les organisations non gouvernementales et les entreprises – va de pair avec l'affaiblissement des institutions internationales. Mais la régionalisation des marchés et des politiques n'est pas synonyme de cloisonnement et de repli ; si au niveau mondial, les barrières commerciales se renforcent pour les biens et les produits, elles disparaissent pratiquement pour l'information, qui circule librement, de même que les compétences. Dans le monde entier, le capital social et le capital humain font l'objet d'investissements importants. La "gestion intégrée", l'"adaptation locale" et l'"apprentissage" sont les maître-mots de ce scénario qu'incarne l'ère de la « Glocalization ». La gestion des écosystèmes est proactive ; fondée sur des initiatives locales et guidée par une meilleure connaissance du fonctionnement des écosystèmes et de leur gestion, elle met en œuvre des solutions locales. La diversité et l'hétérogénéité des modes de gestion des écosystèmes produisent des résultats variés selon les régions. Dans l'ensemble, la situation de l'environnement s'améliore au niveau local, mais elle se détériore au niveau mondial, le changement climatique, la pollution et l'état des ressources halieutiques s'aggravant. La focalisation sur un mode de gouvernance local ayant conduit à négliger les biens publics mondiaux, des coopérations nouvelles s'établissent entre régions et entre des acteurs variés, favorisant le transfert de savoir, de techniques et de compétences sur le fonctionnement et la gestion des écosystèmes.

« TECHNOGARDEN » : Un monde « jardiné » ; une nature entièrement humanisée par la technique mise au service de l'environnement.

La mondialisation et la prépondérance de la technologie caractérisent le monde de ce scénario, que la préoccupation, primordiale, de l'environnement conduit à une gestion proactive des écosystèmes. L'interconnexion planétaire, favorisée par l'essor de moyens de communication performants et peu coûteux, facilite la circulation de l'information comme celle des hommes et des produits de consommation, notamment alimentaires. La coopération prévaut et se manifeste aussi bien par la conclusion de partenariats intra-régionaux et l'intégration économique entre certaines régions du monde, que par la multiplication des institutions et des accords internationaux pour la préservation et la gestion de l'environnement (mer, atmosphère, etc.). Les conditions sont optimales pour apporter une réponse efficace au changement climatique et mettre en œuvre une politique mondiale de réduction des émissions de gaz à effets de serre. Objets d'un fort investissement, les technologies, particulièrement environnementales, se développent massivement, sous des formes nouvelles et variées. Conjugée à l'expansion de l'éducation, la libéralisation des échanges contribue également à la circulation mondiale et à la diffusion des innovations. Dans ce scénario, une attention particulière est portée à l'agriculture, en raison de son lien étroit avec la problématique environnementale. S'appuyant sur le progrès technologique, l'agriculture prend les voies de la « révolution doublement verte » et de « l'agriculture de précision » ; elle se diversifie, notamment par le développement de la multifonctionnalité, et elle s'intensifie, par l'extension des cultures OGM. Le rôle dévolu à la technique s'exprime socialement par l'ascendant et la puissance des technocrates dont procède « une société civile technocratique d'ingénieurs et d'économistes ». Si le souci du long terme et la régulation des biens publics mondiaux et régionaux sont globalement sources d'amélioration pour l'environnement, le haut niveau de technicité déployé génère cependant des risques technologiques importants ; dépendants d'une gestion humaine continue, les écosystèmes peuvent se fragiliser, notamment du fait de leur moindre résilience.

Source : Carpenter et al., (2005)

II.1.2 Les principes de construction du scénario Agrimonde 1

Le scénario Agrimonde 1 se veut un des scénarios possibles de développement d'agriculture et d'alimentations durables. Il cherche à explorer le concept de développement durable dans ses dimensions classiques - économique, sociale, environnementale, mais aussi en ce qui concerne certaines des dimensions santé de l'alimentation. En tant que scénario possible de développement d'agriculture et d'alimentations durables, Agrimonde 1 suppose un monde qui en 2050 aura su répondre au défi de garantir à tous l'accès à une alimentation saine tout en protégeant les écosystèmes.

Le monde en 2050 décrit dans ce scénario repose donc tout d'abord sur des conditions d'alimentation durables, qui concernent à la fois la réduction des inégalités face à l'alimentation et la santé, au travers d'une réduction drastique de la sous-alimentation mais aussi des excès d'apports nutritionnels. Le monde en 2050 aura par ailleurs mis en œuvre un ensemble d'actions d'intensification des systèmes de production (augmentation des rendements à l'hectare) et d'augmentation des productions dans la plupart des régions. Ces actions auront répondu à un double objectif : faire face à la croissance de la demande, et permettre le développement des revenus tirés de l'agriculture dans les espaces ruraux des pays du Sud. La faiblesse de ces revenus y constitue en effet un obstacle majeur à l'accès aux marchés agricoles qui permettraient de compléter les productions propres des ménages ruraux pour atteindre une meilleure satisfaction des besoins nutritionnels, au travers de la réduction de la sous-alimentation et de la malnutrition.

Or, la réponse à ce double objectif suppose que les acteurs des systèmes agricoles et alimentaires mondiaux auront surmonté en 2050 deux difficultés aujourd'hui majeures. D'une part, dans certains des espaces ruraux où la croissance des revenus tirés de l'agriculture est cruciale, en particulier en Afrique subsaharienne, les efforts d'intensification par l'augmentation des intrants et la mécanisation (par exemple, dans le cas de la révolution verte) sont confrontés à un ensemble d'obstacles, parmi lesquels la faible capacité capitaliste des petits exploitants face aux coûts de ces techniques. D'autre part, les modèles d'intensification fondés sur les intrants soulèvent des problèmes environnementaux importants, du fait de leurs impacts négatifs sur les écosystèmes et les ressources naturelles, et se traduisent par une forte dépendance vis-à-vis des énergies fossiles.

Pour faire face à cette double difficulté, certains auteurs envisagent une trajectoire technologique « d'intensification écologique » des systèmes de production. C'est par exemple l'objet du scénario de « révolution doublement verte » proposé par Michel Griffon dans son ouvrage *Nourrir la planète* [Griffon, 2006] ou encore du scénario *TechnoGarden* du MEA. Le groupe de travail a choisi d'explorer le concept d'intensification écologique tel que défini par Michel Griffon (cf. encadré 3). Ainsi, dans le scénario Agrimonde 1, en 2050, les systèmes de production agricoles sont largement fondés sur les technologies et savoirs de l'intensification écologique. Il s'est alors agi pour le groupe de travail d'explorer la diversité des trajectoires possibles d'intensification écologique et d'en questionner la nature, les atouts et les limites en fonction des contextes régionaux et des objectifs poursuivis.

Afin de construire un scénario qui puisse répondre à ce défi - garantir à tous l'accès à une alimentation saine tout en protégeant les écosystèmes - le groupe de travail a choisi d'adopter les principes de construction suivants :

- **Apprécier la capacité de chaque grande région du monde à satisfaire ses besoins alimentaires en 2050.** Ce principe vise à centrer la réflexion sur les facteurs alimentaires et agronomiques et sur les actions à mettre en œuvre à cette fin. Il s'agit donc d'explorer, pour chacune des régions, les trajectoires technologiques, organisationnelles et institutionnelles possibles en matière d'alimentation et d'agriculture, permettant à la fois d'assurer la sécurité alimentaire par des augmentations des rendements et des surfaces cultivées là où cela est faisable, et le respect de l'environnement et des ressources naturelles. Il permet, par ailleurs, d'identifier les zones qui auront le plus de mal à couvrir les besoins alimentaires de leur propre population.
- **Appréhender les effets des évolutions démographiques à venir sans les masquer par de grands mouvements de migrations internationales,** impulsées pour des raisons économiques, politiques ou climatiques de façon à aborder pleinement les implications qu'auront les explosions démographiques attendues, notamment sur les continents africain, asiatique et latino-américain, sur les capacités de ces régions à nourrir leur propre population.

Ces principes de scénario ont également été retenus dans le scénario Agrimonde GO de manière à faciliter sa comparaison avec le scénario Agrimonde 1.

Encadré 3 : Le concept d'intensification écologique

L'intensification écologique consiste à augmenter les rendements de manière naturelle en utilisant au maximum les fonctionnalités écologiques et biologiques des écosystèmes. Globalement, cinq voies la caractérisent :

La première est celle des approches écologiques de la fertilité. Elles reposent sur l'intensification du cycle de la matière organique, en augmentant la part de la biomasse restituée au sol, et en favorisant les conditions d'humidité et de température pour dégrader la biomasse. La technique utilisée est celle des cultures de couverture végétale et des *mulchs* végétaux. En ce sens, l'agriculture s'inspire des phénomènes naturels qui assurent la viabilité et la fertilité des grands écosystèmes pérennes comme la forêt tropicale humide et la prairie. Plus classiquement, on peut utiliser les matières organiques, les effluents d'élevage et déchets organiques urbains. On peut aussi espérer, par la recherche génétique, doter les principales céréales alimentaires de la capacité de fixer l'azote de l'air de manière naturelle, comme le font les légumineuses, ou de mieux utiliser le phosphore des sols.

La deuxième voie est celle de la gestion de l'eau dans l'ensemble d'un écosystème. Il s'agit de conserver l'eau pour faire face aux sécheresses, et de mieux organiser les flux hydriques violents – réguler les crues – afin de limiter l'érosion et d'éviter les pollutions. Cela suppose l'aménagement des paysages selon des principes écologiques.

La troisième voie est celle de la gestion intégrée des grands cycles biogéochimiques comme le cycle du carbone et le cycle de l'azote. L'agriculture et la foresterie sont de puissants moyens de séquestrer du carbone dans les sols et dans la biomasse afin de réduire les concentrations en gaz à effet de serre dans l'atmosphère. De plus, sous forme de matière organique dans les sols, le carbone contribue à la fertilité. On peut aussi attendre de la recherche génétique qu'elle permette d'intégrer dans les principales plantes cultivées les capacités de contenir plus de carbone ou d'en limiter les pertes. Plus simplement, la combinaison des plantes cultivées dans un même espace et leur succession rapprochée dans le temps (agroforesterie, cultures

associées) peuvent faciliter le recyclage des éléments minéraux qui, sinon, sortiraient du système.

La quatrième voie est celle de la lutte intégrée contre les maladies et les ravageurs, et notamment son volet lutte biologique. Beaucoup de ravageurs sont eux-mêmes contrôlés par des prédateurs, beaucoup d'insectes sont la proie d'autres insectes ou d'oiseaux. Les écosystèmes rassemblent en grand nombre des relations très complexes entre hôtes et pathogènes (bactéries, champignons microscopiques, insectes, vers, ...). La connaissance fine de ces relations permet d'intervenir par des méthodes de lutte intégrant toutes sortes de stratégies possibles : lutte biologique, lutte chimique ciblée, résistance des plantes aux maladies. La génétique peut aussi permettre d'identifier des voies naturelles de contrôle des populations de ravageurs et de les systématiser. Dans le domaine de la médecine vétérinaire, on commence de la même manière à utiliser des méthodes "d'écopathologie", s'inspirant d'une approche écologique des maladies.

La cinquième voie est celle de l'utilisation de la biodiversité. On sait que la dégradation des écosystèmes (leur régression écologique) s'accompagne de pertes de biodiversité. La présence dans des écosystèmes de *pools* d'espèces liées de manière complexe avec le milieu donne à ces écosystèmes des propriétés intéressantes : capacités de recyclage et de limitation des pertes de nutriments, résistance aux perturbations, haute productivité. Au fur et à mesure que les connaissances avancent, on sera en mesure de préciser comment, en agissant sur la biodiversité, on pourra contribuer à l'amélioration de la productivité et à la résistance des écosystèmes aux chocs climatiques ainsi qu'aux maladies et aux ravageurs.

Au total, penser une agriculture qui soit plus productive, plus économe en intrants chimiques, et utilisant les fonctionnements des écosystèmes comme base pour les techniques de production, amène à avoir recours à une véritable ingénierie écologique, domaine technique qui intègre les apports de l'agronomie, science à partir de laquelle s'était construite l'agriculture moderne pendant le XX^{ème} siècle.

Source : Griffon (2002)

L'outil, tel qu'il a pu être développé à ce stade, impose cependant un certain nombre de limites à l'ambition de construction et de discussion d'un scénario de système agricole et alimentaire durable :

- Il n'existe pas d'estimations chiffrées précises et complètes en termes géographiques quant aux conséquences du changement climatique sur l'agriculture mondiale, et notamment sur les surfaces cultivables et les rendements. Par conséquent, les phénomènes climatiques, tels que la variabilité accrue des événements climatiques, la modification de la pluviométrie,

la hausse des températures et le dégel de certaines terres, n'ont été pris en compte, qu'à dire d'experts et de façon peu précise, lors des discussions du groupe de travail autour de l'évolution du potentiel cultivable et des potentiels de rendements de chaque région à 2050. Les scénarios du GIEC montrent que l'inertie du changement climatique est forte et que même les scénarios les plus volontaristes et les plus optimistes supposent une évolution des phénomènes climatiques d'ici 2050, dont une augmentation de température de 1 à 2°C en moyenne mondiale [IPCC, 2007.a]. En s'inspirant de ces scénarios, les experts du groupe de travail ont modulé leurs hypothèses relatives aux surfaces cultivées et aux rendements possibles en 2050 dans les différentes régions. Les impacts anticipés du changement climatique, notamment pour ce qui concerne l'augmentation de la fréquence des événements extrêmes, ont également conduit les experts à s'interroger sur la robustesse aux événements extrêmes des systèmes agricoles envisagés en 2050. L'ampleur des modulations retenues par le groupe de travail demanderait à être confirmée par des travaux plus précis sur les potentiels cultivables futurs compte tenu du changement climatique.

- Le modèle quantitatif n'intègre pas d'indicateurs chiffrés de consommation des ressources naturelles tels que les quantités d'eau ou d'énergie consommées. Une telle endogénéisation aurait demandé une étude approfondie sur la nature des ressources utilisées (par exemple eau bleue ou eau verte⁶⁰) et sur leur coût d'opportunité (pas d'autre allocation possible que celle envisagée dans le scénario, autre allocation possible...). En revanche, la notion de pression sur les ressources naturelles est prégnante dans l'analyse à divers égards, tels que la déforestation résultant de l'extension des terres cultivées, le stress hydrique induit par les évolutions climatiques et démographiques conjointes, la dégradation des sols et des eaux causées par les pratiques agricoles, etc. La réflexion, au-delà de l'identification des enjeux majeurs ayant trait aux ressources naturelles, s'est tournée vers les stratégies d'adaptation et de limitation de ces phénomènes.
- Le scénario Agrimonde 1 se fonde sur l'hypothèse du rôle moteur du développement agricole et rural dans le développement économique global et dans la lutte contre la pauvreté, à l'instar du rapport 2008 de la Banque Mondiale [Banque mondiale, 2008]. Ainsi, il suppose que dans beaucoup de pays en développement, la solvabilité de la demande de produits alimentaires et l'absence de migrations massives reposent avant tout sur le développement de la production agricole nationale. Toutefois, l'outil construit ne permet pas de vérifier si les augmentations de production supposées dans chaque région permettent de contribuer à un développement économique suffisant notamment pour éviter les phénomènes de migrations massives.

En somme, le scénario Agrimonde 1 vise à explorer le sens et les conditions d'existence d'un scénario de développement d'un système agricole et alimentaire durable. En cela, il s'agit bien de ce que la prospective appelle un scénario « normatif » (cf. encadré 1), mais les objectifs ou les hypothèses décrites ci-après n'ont pas pour autant pour les membres du groupe de travail le statut de norme et encore moins de prescription. L'objectif d'une description la plus complète du scénario consiste bien à explorer les problèmes de faisabilité, de plausibilité, de cohérence, qui se déclinent à partir des principes du scénario, et qui seront discutés dans le chapitre II.4.

Sur la base de ces principes de scénario, le groupe de travail a construit des hypothèses quantitatives sur les emplois et les ressources au niveau régional. Il a dû choisir les règles de construction propres à chacun des quatre ensembles de variables (populations, consommations alimentaires réparties en fonction de l'origine des calories, rendements et surfaces). Ces choix, qui sont précisés dans la suite, sont les suivants :

- Pour les populations, le souhait d'appréhender les effets des évolutions démographiques à venir sans les masquer par de grands mouvements de migrations internationales a conduit le groupe de travail à retenir les projections médianes de l'ONU à 2050 qui correspondent à une situation de migrations internationales qualifiées de « normales » par les Nations Unies, soient environ 100 millions de migrants sur 50 ans [ONU, 2006].

⁶⁰ La distinction eau bleue / eau verte a été proposée par Falkenmark en 1995 [Falkenmark, 1995]. L'eau « bleue » est celle qui s'écoule dans les rivières jusqu'à la mer, celle qui se trouve dans les lacs, qui est captée dans les nappes souterraines, qui est distribuée dans les canalisations, etc. L'eau « verte » est celle qui est contenue dans le sol et qui est disponible pour les plantes. 60% du total des précipitations constituent l'eau verte.

- Pour construire les hypothèses sur les consommations alimentaires, c'est un choix normatif qui a prévalu ; il est fondé sur une appréhension de ce que pourrait être une alimentation durable.
- Les hypothèses relatives aux surfaces ont été construites sur la base des facteurs physiques de disponibilité et de qualité des sols confrontés à des critères de durabilité.
- Enfin, les hypothèses relatives aux rendements ont été construites en considérant les rendements comme une variable d'ajustement du système. Le groupe de travail a donc proposé une fourchette de rendements sur la base des tendances passées et d'un objectif de progrès des techniques permettant de préserver des écosystèmes. L'idée était notamment de tester une hypothèse de rendements plus optimiste si toutefois l'hypothèse basse ne permettait pas d'avoir un niveau de ressources supérieur ou égal au niveau d'emplois au niveau mondial.

II.2 Les hypothèses quantitatives des scénarios

Jean-Marc Chaumet, Gérard Gherzi, Jean-Louis Rastoin, Tévécia Ronzon

Le scénario Agrimonde repose sur la quantification de quatre ensembles de variables : les populations, les consommations alimentaires, les surfaces et les rendements. Les hypothèses sur la population et les consommations alimentaires, qui permettent de calculer les emplois, sont présentées en premier (II.2.1), avant que ne soient développées les hypothèses permettant de calculer les ressources (les surfaces et les rendements) (II.2.2).

II.2.1 Les hypothèses quantitatives relatives aux emplois des productions agricoles

Afin de pouvoir calculer les emplois des productions agricoles par région, des hypothèses ont d'abord été élaborées au niveau régional pour 2050 sur les populations (II.2.1) puis sur les consommations alimentaires (II.2.2).

II.2.1.1 Quelles populations en 2050 ?

Les hypothèses de population du MEA pour 2050 s'étalent entre 8 et 9,5 milliards d'habitants selon les scénarios (cf. tableau 7) :

- *Global Orchestration* est le scénario où la population est la plus faible, la transition démographique étant relativement rapide grâce à de forts investissements en capital humain et un rapide développement des technologies, notamment dans le secteur de la santé. La mortalité atteint en particulier des niveaux très bas dans les pays riches, en cohérence avec des taux de croissance économique élevés et un progrès technologique important.
- A l'opposé, dans le scénario *Order from Strength*, la transition démographique est très lente, résultant de faibles investissements en capital humain et d'une faible croissance économique. De plus, la croissance inégale parmi les pays riches et l'émergence de maladies potentiellement graves, entraîne des taux de mortalité élevés.
- Dans *Adapting Mosaic*, la population mondiale est en 2050 pratiquement identique à celle du scénario *Order from Strength* car les deux scénarios suivent la même trajectoire pendant de nombreuses années avant qu'un effort ne soit entrepris dans *Adapting Mosaic* envers l'éducation, ce qui permet par la suite une croissance économique plus forte et un développement technologique important. Mais les conséquences démographiques de ces investissements, en termes de taux de natalité et de taux de mortalité, n'apparaissent que tardivement.
- La population du scénario *TechnoGarden* au niveau mondial se rapproche de celle du scénario Agrimonde 1. Ce dernier scénario du MEA voit des investissements et une croissance économique modérés, ce qui induit un rythme modéré dans l'évolution de la fertilité et de la mortalité dans le monde, pour atteindre des taux qualifiés de moyens comparativement aux autres scénarios.

Les hypothèses d'Agrimonde 1 et d'Agrimonde GO⁶¹ concernant la population mondiale en 2050 reposent, quant à elles, sur la projection médiane des Nations-Unies [ONU, 2006]. Celle-ci chiffre à un peu plus de 9 milliards le nombre d'habitants sur la planète à la moitié du siècle. Rappelons que cette projection intègre un régime dit normal de migrations internationales, ce qui correspond à environ 100 millions de migrants sur 50 ans. Cette hypothèse de faibles migrations, qui va à l'encontre de certaines anticipations concernant l'afflux de réfugiés climatiques, permet aux scénarios, comme indiqué dans le chapitre précédent, de pleinement rendre compte des

⁶¹ Rappelons que construit sur la même base de quantification qu'Agrimonde 1, Agrimonde GO reprend les mêmes hypothèses de population. Ce parti pris répond à la volonté de pouvoir facilement comparer les deux scénarios, et au principe de construction des scénarios Agrimonde qui est d'« apprécier la capacité de chaque grande région du monde à satisfaire ses besoins alimentaires en 2050 ».

conséquences de la forte croissance démographique anticipée en Afrique, Asie et Amérique latine, sans les masquer par de grands mouvements de migrations internationales.

Les populations par région dans les scénarios Agrimonde ont été calculées à partir des chiffres par pays disponibles dans la projection des Nations-Unies (cf. tableau 8). Rappelons que certains pays (Irak, Afghanistan,...) ont été exclus des calculs par manque de données rétrospectives (cf. chapitre I.2). Nous ne prenons donc pas en compte ces pays dans les populations en 2000 ainsi qu'en 2050.

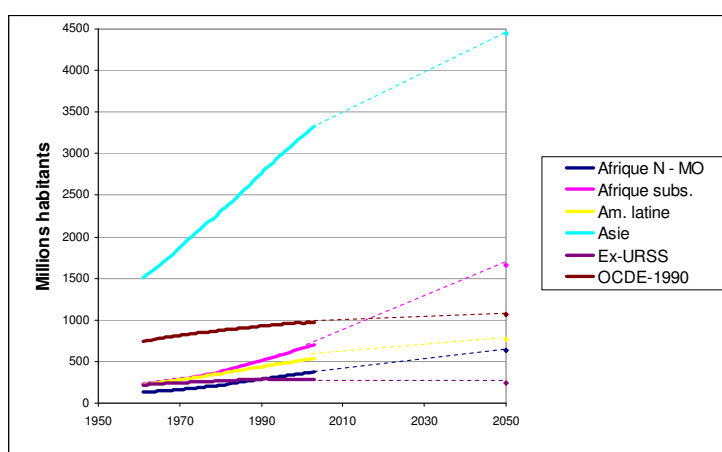
Selon la projection médiale des Nations-Unies, la plus forte progression de population aura lieu en Afrique subsaharienne, avec une multiplication par 2,5 de sa population, suivie de l'Afrique du Nord – Moyen Orient (multiplication par 1,8), de l'Amérique latine (x 1,5) et de l'Asie (x 1,4). L'OCDE-1990 devrait voir sa population rester stable, tandis que l'Ex-URSS devrait perdre près de 15% de ses habitants (cf. figure 22).

Tableau 8 : Populations (en millions d'individus) en 2000, en 2050 dans les scénarios Agrimonde et dans les scénarios du *Millennium Ecosystem Assessment*

	2000	2050 scénarios Agrimonde	Global Orchestration (GO)	Order from Strength (OS)	Adapting Mosaic (AM)	TechnoGarden (TG)
Afrique du Nord - Moyen Orient	352	631	603	774	765	692
Afrique subsaharienne	659	1 661	1 109	1 570	1 492	1 329
Amérique latine	515	773	742	944	933	831
Asie	3 204	4 442	4 104	5 023	4 992	4 535
Ex-URSS	281	239	282	257	273	281
OCDE-1990	961	1 066	1 255	998	1 068	1 154
MONDE	5 973	8 812	8 567	9 567	9 522	8 821

Sources : ONU (2006), Carpenter et al. (2005), Dorin (cf. I.2 Agribiom)

Figure 22 : Evolution de la population entre 1961 et 2003 et entre 2003 et 2050 dans les scénarios Agrimonde



Sources : d'après ONU (2006), Dorin (cf. I.2 Agribiom)

Figure 23 : Les hypothèses de consommation alimentaire dans les scénarios du Millennium Ecosystem Assessment

Mondialisation	
Global Orchestration	TechnoGarden
<p>La disponibilité alimentaire moyenne mondiale en 2050 est de 3600 kcal/hab./j. Ce scénario se situe donc dans la prolongation des tendances actuelles, avec une extension de l'épidémie d'obésité dans les zones de fort développement économique, une augmentation importante de la demande de viande, avec pour corollaire une part croissante des céréales destinées à l'alimentation animale. Les modèles traditionnels sont peu à peu abandonnés pour des habitudes alimentaires plus standardisées. Les disponibilités caloriques pour l'alimentation sont les plus importantes des quatre scénarios. Cette prolongation des tendances permet une avancée importante en termes de sécurité alimentaire : la diminution en valeur absolue du nombre d'enfants souffrant de malnutrition.</p>	<p>Ce scénario se démarque fortement des autres par une attitude proactive des consommateurs envers la gestion de l'environnement. Celle-ci se traduit par la demande de produits issus d'une agriculture « écologique » et par une hausse modérée de la consommation de viande. L'accroissement de la quantité de produits animaux consommés par les habitants des pays en développement est similaire à celui des scénarios centrés sur la régionalisation. Par contre, dans les pays riches, l'accroissement de la consommation de produits animaux est deux à trois fois plus faible que dans les autres scénarios. Cette évolution des régimes alimentaires est liée à la prise en compte de leurs effets environnementaux et sanitaires. Au final, la consommation mondiale journalière par habitant approche les 3300 kcal en 2050. A noter que le nombre d'enfants souffrant de malnutrition est relativement faible dans ce scénario, mais tout de même supérieur à celui enregistré dans Global Orchestration.</p>
Réactivité	Proactivité
Order from Strength	Adapting Mosaic
<p>Le modèle alimentaire n'évolue pas dans les pays développés mais ne se répand pas dans les pays en développement, la faible croissance économique limitant l'augmentation des revenus nécessaires à son extension et les barrières aux échanges contrariant la généralisation du régime alimentaire occidental. La croissance économique limitée touche également les pays riches qui voient leur consommation augmenter faiblement. Il en résulte une disponibilité moyenne mondiale proche de 3000 kcal en 2050 correspondant à un état stationnaire dans chacun des pays du monde. La relative stagnation économique conjuguée au manque de coopération internationale a pour conséquence une augmentation du nombre d'enfants souffrant de malnutrition.</p>	<p>La problématique au cours des premières années de ce scénario est proche de celle d'Order from Strength, la croissance économique étant également faible. Les produits à forte valeur ajoutée ne sont pas abordables pour une bonne partie des consommateurs qui se focalisent sur les denrées produites localement à partir de techniques de production adaptées à l'environnement local. A partir de 2020, la situation économique s'améliore et la demande de produits alimentaires sains et de bonne qualité se fait plus pressante, au point que plusieurs pays inscrivent dans leur constitution le « droit à une alimentation saine ». Cette tendance prend d'abord corps dans les pays développés avant de se répandre dans les pays en développement. La disponibilité moyenne mondiale en 2050 est légèrement supérieure à 3000 kcal/hab./j.</p>
Régionalisation	

Source : d'après Carpenter et al. (2005)

II.2.1.2 Quelles consommations alimentaires en 2050 ?

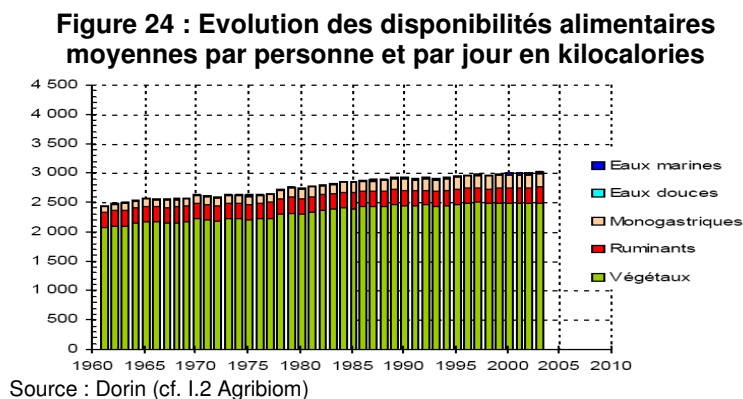
Dans les scénarios Agrimonde, comme dans les scénarios du MEA, les « disponibilités alimentaires » servent d'approximation de la consommation alimentaire. Ces disponibilités reflètent la quantité de calories à disposition des consommateurs, au niveau des ménages et de la restauration hors-foyer. Elles incluent donc les calories qui seront perdues entre l'achat des produits et leur ingestion. Elles ne doivent pas être confondues avec la quantité de calories effectivement ingérées qui est, elle, difficile à estimer.

Dans le MEA, la croissance économique explique largement les niveaux de disponibilité, sauf dans *TechnoGarden* où l'attitude proactive vis-à-vis de l'environnement limite la hausse des disponibilités animales (cf. figure 23). Ainsi, le scénario Agrimonde GO, qui reprend les hypothèses du scénario *Global Orchestration* du MEA (cf. annexe 13), est-il un scénario que l'on peut qualifier de tendanciel en termes d'évolution du niveau de consommation de calories alimentaires. La croissance économique y tire la consommation dans toutes les régions du monde pour atteindre une disponibilité moyenne mondiale de 3590 kcal/hab./jour et la sous-alimentation en est considérablement réduite. En revanche, le niveau de consommation calorique devient tel dans les pays à fort développement économique, qu'il s'accompagne d'une forte augmentation de la prévalence de l'obésité.

Le scénario Agrimonde 1 se distingue très nettement de cette évolution tendancielle. Il partage certaines caractéristiques de *TechnoGarden* puisque la relation qui lie le revenu et la consommation alimentaire ne reste pas la plus déterminante, en raison des préoccupations liées à la santé et à l'environnement. L'hypothèse de disponibilité alimentaire retenue par le groupe de travail est de 3000 kcal par jour et par habitant dans toutes les régions du monde, tout en maintenant certaines spécificités régionales perceptibles dans la décomposition des calories animales par source (monogastriques, ruminants et produits halieutiques).

Les calories disponibles totales pour l'alimentation

L'étude des évolutions des disponibilités et des modes de consommation alimentaires au cours de ces 40 dernières années montre une augmentation de la disponibilité⁶² par habitant au niveau mondial, de 2500 kcal/j/hab. en 1961 à 3000 kcal/j/hab. en 2003 (cf. figure 24).



Ces évolutions ont entraîné des changements favorables aux sociétés humaines dans la deuxième moitié du XX^{ème} siècle : éloignement des spectres des famines, forte baisse des prix des aliments, innocuité alimentaire, effets positifs sur l'activité économique [Rastoin, 2007]. Cependant, les événements récents, au travers des « émeutes de la faim » du printemps 2008, montrent la grande fragilité de certaines de ces tendances. La FAO estimait à 852 millions le nombre de personnes

⁶² La disponibilité par habitant et par jour se définit ici comme : la disponibilité (production – exportations + importations +/- variations de stocks) en produits alimentaires destinés à l'alimentation humaine directe (estimée en kilocalories) pour un pays ou une région divisée par le nombre d'habitants et par le nombre de jour (365). Il ne s'agit que d'une moyenne qui ne permet pas de visualiser les variations, souvent très importantes, entre et au sein des ménages. De plus, elle ne comprend pas les pertes de produits alimentaires qui peuvent intervenir dans les ménages ou les établissements de restauration.

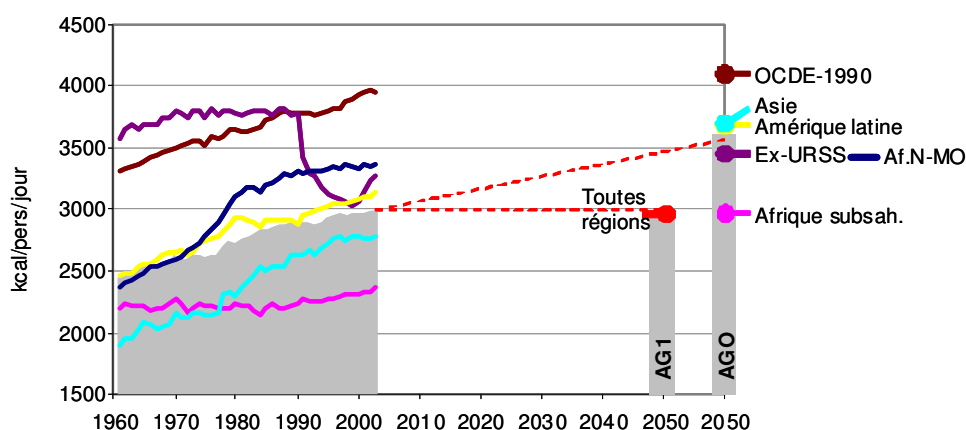
sous-alimentées en 2000 (dont 815 millions dans les pays en développement, 28 millions dans les pays en transition et 9 millions dans les pays développés) et les estimations récentes sont en augmentation⁶³ [FAO, 2004, 2008].

Dans le scénario Agrimonde GO, les disponibilités alimentaires par habitant progressent encore dans toutes les régions du monde entre 2000 et 2050. En 2050, elles se distribuent entre environ 3000 kcal/hab./jour en Afrique subsaharienne et environ 4100 kcal/hab./jour en OCDE-1990 (cf. figure 25). Malgré un phénomène global d'enrichissement calorique des régimes alimentaires, ceux-ci se différencient encore en 2050 tant par leur niveau calorique moyen que par leur décomposition en produits végétaux, animaux et aquatiques (cf. graphique 2).

Quant à lui, le scénario Agrimonde 1 retient l'hypothèse qu'en 2050, les disponibilités alimentaires moyennes auront convergé pour représenter dans toutes les régions environ 3000 kcal/j/hab., ce qui correspond à la disponibilité alimentaire moyenne mondiale observée en 2000, laquelle recouvre d'importantes disparités entre pays et à l'intérieur des pays.

La convergence de toutes les régions vers des disponibilités moyennes de 3000 kcal/j/hab. à l'horizon 2050 représente donc une rupture majeure par rapport aux tendances observées entre 1961 et le début du XXI^{ème} siècle. Elle correspond à de faibles évolutions des disponibilités alimentaires par personne dans la plupart des régions d'ici à 2050, sauf en Afrique subsaharienne, pour laquelle la disponibilité alimentaire par habitant a augmenté, selon notre hypothèse, de 20% en 50 ans, et dans la région OCDE-1990 pour laquelle elle a diminué d'un quart (cf. figure 25).

Figure 25 : Evolution des disponibilités alimentaires moyennes régionales entre 1961 et 2003 et dans les scénarios Agrimonde



Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Dorin (cf. I.2 Agribiom)

La répartition des disponibilités alimentaires totales selon les sources

Aujourd'hui, les régimes alimentaires restent assez diversifiés selon les régions du monde et les pays, que ce soit en termes d'apport calorique total, comme on l'a vu plus haut, ou de répartition entre les différentes sources d'alimentation, la différence essentielle entre les modèles de consommation des pays du Sud et ceux du Nord concernant les produits de l'élevage : viande, œufs, lait. Les pays occidentaux disposent en moyenne de trois fois plus de viande par tête et par an que les pays du Sud à économie de marché (un Nord Américain dispose de huit fois plus de viande qu'un Africain), deux fois plus d'œufs et six fois plus de lait. Le modèle occidental est aussi beaucoup plus riche en produits de l'élevage que celui de l'Ex-URSS et de l'Europe orientale.

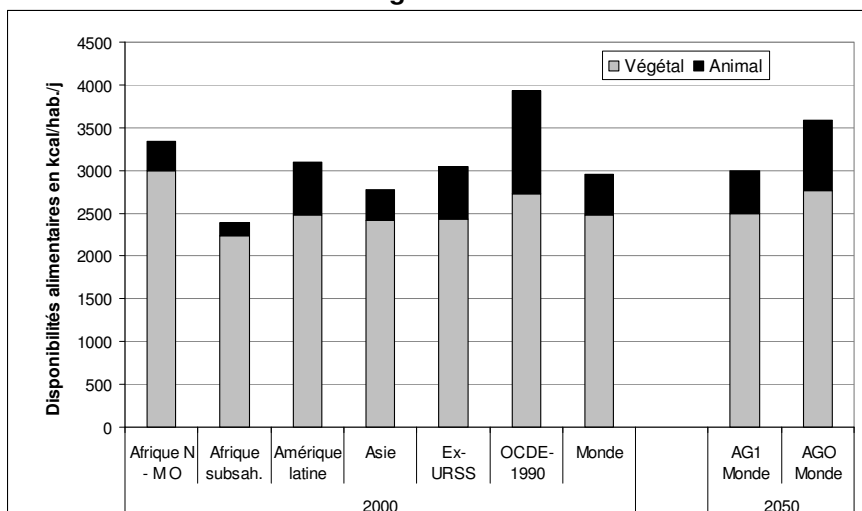
Dans le module quantitatif, les disponibilités totales sont composées de disponibilités en calories végétales, animales terrestres (monogastriques et ruminants) et aquatiques (eau douce et eau marine). Si la consommation moyenne de calories végétales augmente encore entre 2000 et 2050 dans le scénario Agrimonde GO (+ 11% en moyenne), c'est essentiellement la consommation de

⁶³ La FAO estime à 923 millions le nombre de personnes sous-alimentées en 2007 [FAO, 2008].

calories d'origine animale (+ 74% en moyenne) qui explique l'accroissement de la consommation alimentaire (cf. graphique 1).

Dans le scénario Agrimonde 1, le groupe de travail a retenu, l'hypothèse d'une convergence des disponibilités en calories végétales vers un seuil de 2500 kcal à l'horizon 2050, dans toutes les régions du monde. Ce chiffre correspond à la moyenne mondiale actuelle des disponibilités de kilocalories végétales par habitant et est également le chiffre vers lequel tendent les disponibilités des différentes régions, Afrique du Nord – Moyen Orient exceptée (cf. graphique 1).

Graphique 1 : Répartition régionale des disponibilités alimentaires en produits d'origine végétale et animale en 2000 et dans les scénarios Agrimonde



Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Dorin (cf. I.2 Agribiom)

La répartition des 500 kcal/j/hab. de calories d'origine animale⁶⁴ (entre ruminants, monogastriques, eau douce et eau marine) dans le scénario Agrimonde 1 est variable d'une région à l'autre puisque c'est au travers de cette répartition que le groupe de travail a choisi de tenir compte des spécificités, notamment culturelles, des régimes alimentaires.

Pour construire les hypothèses sur la répartition des calories d'origine animale dans chaque région, le groupe de travail a d'abord fixé le nombre de calories issues des ruminants, en le plafonnant⁶⁵. Ensuite, il a fait une hypothèse sur les calories d'origine aquatique et enfin sur les calories issues de monogastriques.

Le groupe de travail a choisi de reconduire en 2050, la part de calories issues de ruminants, au sein des calories totales, constatée en 2000 dans chaque région, tout en la bornant de telle sorte qu'elle ne dépasse pas la moitié du total des calories animales disponibles pour l'alimentation en 2050, soit 250 kcal/j/hab. Ainsi, après application dans chaque région en 2050 du pourcentage relevé en 2000 au sein de cette même région :

- certaines régions disposent d'un volume de calories issues de ruminants en 2050 supérieur à 250 kcal/j/hab. : leurs disponibilités sont alors plafonnées à 250 kcal/j/hab. en 2050. L'OCDE-1990 voit ainsi ses disponibilités réduites de 63% par rapport aux disponibilités de 2000, l'Ex-URSS de 44% et l'Amérique latine de près d'un tiers.
- d'autres régions disposent en 2000 de moins de 250 kcal/j/hab. issues de ruminants : le pourcentage des disponibilités en calories issues de ruminants est alors reconduit en 2050. Cela correspond à une augmentation en valeur absolue de 22% des disponibilités en

⁶⁴ 500 kcal/j/hab. est également la moyenne mondiale actuelle des disponibilités en calories d'origine animale.

⁶⁵ Il est à noter que la baisse de la part des ruminants dans les rations alimentaires peut supposer que la part du lait dans l'alimentation soit également diminuée, l'essentiel des viandes de ruminants consommées dans l'OCDE provenant des vaches laitières. Il faudrait donc être en mesure d'estimer la part de protéines provenant de cette source par rapport aux besoins, ainsi que l'apport en calcium par rapport aux doses journalières recommandées.

Afrique subsaharienne pour atteindre 129 kcal/j/hab. en 2050 et de 6% en Asie (pour arriver à 159 kcal/j/hab.). Par contre, la région Afrique du Nord – Moyen Orient voit ses disponibilités en calories issues de ruminants baisser de 10% pour atteindre 222 kcal/j/hab., ses disponibilités en calories totales ayant également diminué.

Le groupe de travail a opté pour une augmentation (par rapport à 2000) de la part des calories d'origine aquatique – ce qui correspond à la tendance historique mondiale - tout en introduisant des différences de progression selon les régions qui tiennent aux possibilités de production régionales. Une différence a été introduite entre calories d'eau douce et calories d'eau marine ; le groupe de travail a en effet considéré que les océans représentent un gisement considérable de productivité, mais que la pêche se verra confrontée à des limites structurelles liées à plusieurs facteurs (surpêche, artificialisation du littoral, pollution, érosion accélérée de la biodiversité), tandis que les tensions sur les usages d'eau douce seront exacerbées.

Ainsi, il est supposé que l'aquaculture marine peut progresser à un rythme supérieur à celui qu'elle a connu ces 40 dernières années, mais à un rythme différencié selon les régions :

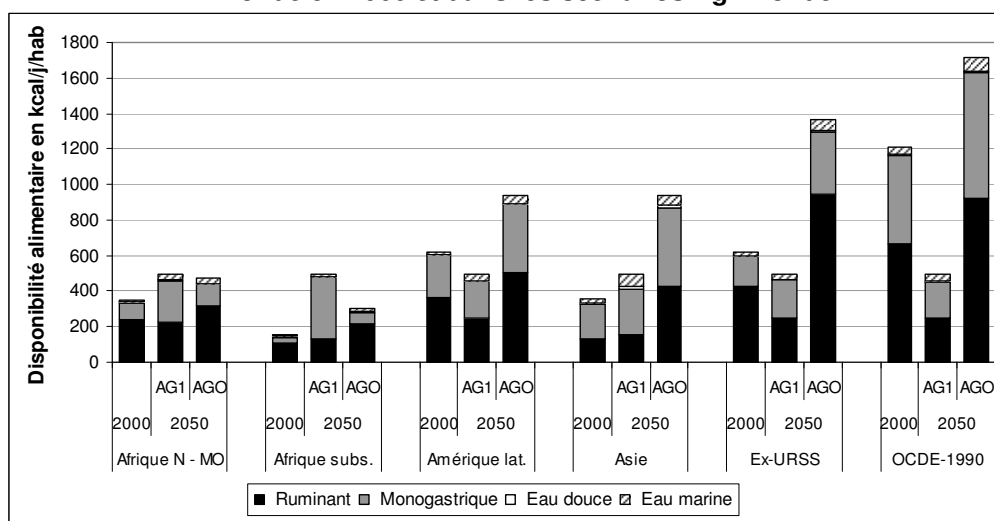
- élevé en Asie, en OCDE-1990 et en Amérique latine, qui disposent de potentiels de production importants. Le groupe de travail a choisi de doubler le rythme d'accroissement des disponibilités observé sur la période 1961-2000,
- modéré dans les autres régions. Le groupe de travail a retenu un accroissement de 50% des disponibilités par rapport à l'accroissement de la période 1961-2000, pour l'Ex-URSS, l'Afrique subsaharienne et l'Afrique du Nord – Moyen Orient⁶⁶.

Pour les calories en provenance des poissons d'eau douce, étant données les tensions sur l'eau, le groupe de travail a retenu une relative stabilité des disponibilités par personne, en calquant leur évolution sur les augmentations de population de chaque région.

Les disponibilités en calories de monogastriques se déduisent ensuite des hypothèses effectuées sur les disponibilités en calories de ruminants et en calories de produits aquatiques : le solde de l'équation 'disponibilités régionales totales en produits animaux – disponibilités régionales en produits de ruminants – disponibilités régionales en produits aquatiques' renseigne en effet les disponibilités régionales en produits de monogastriques pour 2050.

Au final, pour les régions qui voient les disponibilités en calories animales s'accroître entre 2000 et 2050, cet accroissement s'effectue essentiellement par les produits de monogastriques. La part des ruminants reste cependant forte dans les zones OCDE-1990, Ex-URSS et Amérique latine (cf. graphique 2).

Graphique 2 : Répartition des calories d'origine animale par grande région du monde en 2000 et dans les scénarios Agrimonde



Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Dorin (cf. I.2 Agribiom)

⁶⁶ Les calculs pour l'Ex-URSS ont été effectués à partir de la période 1993-2003, car les disponibilités sont en baisse sur la période 1963-2003 : cette baisse est surtout concentrée sur 1989-1993. Une rupture s'amorce après 1993.

Un jeu d'hypothèses explorant la possibilité de ruptures majeures dans les régimes alimentaires

Les hypothèses relatives aux régimes alimentaires dans le scénario Agrimonde 1 sont en rupture très marquée par rapport aux tendances puisqu'elles supposent que les régimes alimentaires vont s'ajuster aux objectifs de développement durable du fait des tensions plus marquées sur les ressources et des problèmes de santé publique associés à l'alimentation. Il s'agit donc d'un jeu d'hypothèses très fortes puisqu'il implique une prise en compte par les consommateurs, par les producteurs et par les politiques publiques des conséquences globales et locales des modes de production et de consommation alimentaire sur l'environnement et la santé.

Le choix de ce jeu d'hypothèses par le groupe de travail repose essentiellement sur quatre arguments :

- l'écart très marqué qui existe aujourd'hui entre disponibilités observées et disponibilités nécessaires à la sécurité alimentaire dans chaque région ;
- l'importance de l'équité dans un scénario de développement durable ;
- la relation santé-alimentation ;
- la relation entre régimes alimentaires et pressions sur les ressources naturelles.

- *Des écarts marqués entre disponibilités observées et disponibilités nécessaires à la sécurité alimentaire*⁶⁷

Une disponibilité moyenne de 3000 kcal est jugée satisfaisante, à l'échelle d'une population, pour garantir à chacun une alimentation suffisante et saine. En effet, selon la FAO ce chiffre permettrait, en fonction de l'inégalité d'accès à la nourriture et de l'hétérogénéité des rations alimentaires dans la population, et en tenant compte de pertes limitées, de maintenir la proportion de sous-alimentés à un chiffre relativement bas (de l'ordre de 6% de la population mondiale si l'inégalité est forte) [FAO, 2003 et 2002].

Ainsi, notre hypothèse qui établit à 3000 kcal/j/hab. la disponibilité alimentaire moyenne dans toutes les régions en 2050 a l'intérêt de mettre en évidence les écarts qui existent aujourd'hui entre la disponibilité nécessaire à la sécurité alimentaire et les disponibilités constatées en 2000, notamment pour les pays ayant généralisé le mode de consommation « occidental ». Les disponibilités moyennes par habitant en 2000 approchent en effet les 4000 kcal/hab./j dans la zone OCDE-1990 et atteignent presque 4500 kcal/hab./j aux Etats-Unis.

Ces écarts peuvent s'expliquer par la dispersion des régimes au sein même des populations considérées, mais aussi par la surconsommation dans les pays riches ou encore par la proportion des pertes entre la mise à disposition auprès de l'utilisateur et la consommation réelle, en fonction des modes de consommation. Les pertes liées à la consommation alimentaire chez les consommateurs sont en effet relativement importantes notamment dans les pays développés. Les chiffres varient selon les études mais restent élevés. Une étude réalisée aux Etats-Unis chiffre, par exemple, à 14% de l'alimentation achetée, la perte chez le consommateur en ce qui concerne la viande, les grains et les fruits et légumes [Jones, 2004] tandis qu'une étude anglaise chiffre à 30% les pertes chez les consommateurs en Grande-Bretagne [WRAP, 2007].

- *La question de l'équité dans un scénario de développement durable*

La question de l'équité, et notamment entre les pays des Nord et ceux des Sud, a également été importante dans la construction des hypothèses sur les régimes alimentaires dans le scénario Agrimonde 1. Au niveau régional, il est possible de calculer à partir des bilans alimentaires la répartition actuelle des disponibilités mondiales de nourriture exprimées en calories finales totales. À cet effet on multiplie les disponibilités journalières par tête par la population et par 365 jours. On aboutit alors à des chiffres considérables qu'il convient d'exprimer, non pas en kilocalories, mais en gigakilocalories (Gkcal), soit 10^9 kcal. Ces données doivent être considérées comme des ordres de grandeur des prélèvements qui sont opérés en termes de produits alimentaires sur les écosystèmes mondiaux. On constate que ces disponibilités alimentaires ne sont pas aujourd'hui partagées de façon équitable, même si les distorsions sont moins frappantes que dans le cas de la richesse (PIB).

⁶⁷ Les pertes entre la récolte et la mise à disposition du consommateur ne sont pas traitées dans ce chapitre sur les emplois des productions agricoles. Elles seront déduites des ressources en biomasse agricole (cf. encadré 11 dans le chapitre II.3).

Ainsi, l'OCDE-1990 qui regroupe 16% de la population mondiale consomme 21% des calories, alors que l'Asie qui représente 54% de la population ne dispose que de 49% des calories (cf. tableau 9).

Tableau 9 : Répartition mondiale des disponibilités de calories finales, moyenne 2001-2003.

Zones	Population (en milliers)	Disponibilités totale de calories finales (Gkcal)
Afrique du Nord - Moyen Orient	6%	7%
Afrique subsaharienne	11%	9%
Amérique Latine	9%	9%
Asie	54%	49%
Ex-URSS	5%	5%
OCDE-1990	16%	21%
Total monde	100%	100%
Monde	6 200 194	6 755

Source : Dorin (cf. I.2 Agribiom)

L'hypothèse retenue par Philippe Collomb dans son ouvrage *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050* [Collomb, 1999] était une option envisageable pour prendre en compte la question de l'équité. Cet auteur suppose qu'en 2050 les populations des pays en développement bénéficient d'un régime alimentaire proche de celui du Mexique à la fin des années 1990 (3040 kcal/j/hab. en termes de disponibilités alimentaires). Plus précisément, les pays actuellement en dessous de ce régime verraient leur disponibilité augmenter et les pays actuellement au-dessus, notamment les pays développés, garderaient leur régime inchangé. Cette hypothèse consiste à mettre à disposition de manière équitable au moins le minimum nutritionnel : dans cette optique, libre à ceux qui le peuvent et le souhaitent de consommer davantage que nécessaire. Finalement, le groupe de travail s'est inspiré de l'hypothèse de P. Collomb mais a choisi de retenir une approche plus exigeante de l'équité, considérant de plus que les questions de santé liées à l'alimentation influencent fortement les régimes alimentaires dans le scénario Agrimonde 1.

- *Une prise en compte de la relation alimentation-santé*

Une disponibilité de 3000 kcal/j/hab. peut en effet avoir des conséquences positives en termes de santé publique. Tout d'abord, comme précisé ci-dessus, ce niveau de disponibilité maintient la proportion de sous-alimentés à un chiffre relativement bas et diminue ainsi les risques de sous-alimentation dans les pays en développement. Ensuite, une surconsommation favorise la survenue de maladies non transmissibles liées à l'alimentation (MNTA), comme l'obésité. Leur progression pousse à une mutation de la consommation alimentaire. En effet des études montrent que les incidences du régime alimentaire actuel sur la santé affectent l'espérance de vie dans des pays comme les Etats-Unis [Olshansky et al, 2005]. L'obésité est bien évidemment la première maladie impliquée, mais elle n'est pas la seule concernée et d'autres maladies (diabète de type 2, maladies cardio- ou cérébro-vasculaires et certains cancers) font partie des MNTA. Ces maladies ont souvent comme facteurs de risques l'obésité mais sont plus généralement liées à une mauvaise alimentation. Même si le scénario Agrimonde 1 ne fait pas d'hypothèses quantitatives sur les nutriments présents dans les régimes alimentaires, la quantification du scénario se fondant sur les calories sans les décomposer en macro et micro nutriments ; il suppose cependant que les régimes alimentaires seront plus équilibrés du point de vue nutritionnel.

- *Limiter la pression sur les ressources naturelles*

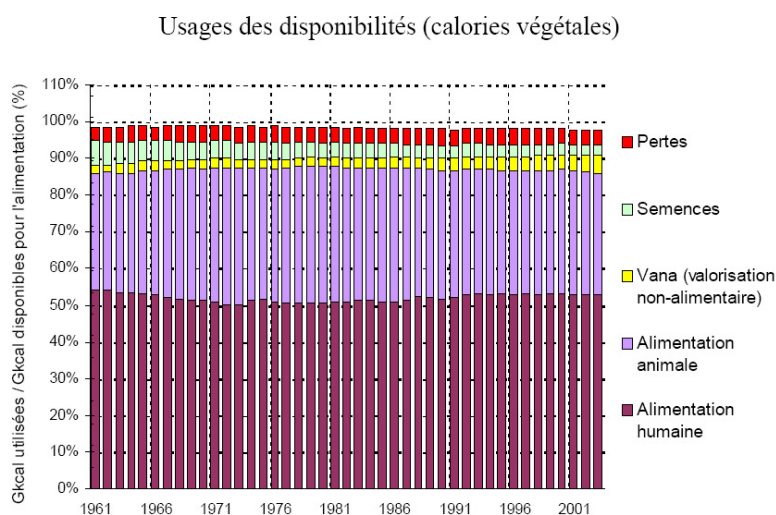
Une excès d'apport calorique entraîne des problèmes de santé, mais a également des conséquences en termes de pression sur l'environnement. L'objectif de nourrir convenablement neuf milliards d'habitants en 2050 suppose, quels que soient le volume et les méthodes de production envisagés, une pression importante sur les ressources naturelles (besoins en terre, en eau et en énergie, impacts environnementaux). Le jeu d'hypothèses sur les régimes alimentaires retenu par le groupe de travail permet d'explorer cette question de la pression sur les ressources naturelles.

Cette dernière marque différents aspects du scénario. Les disponibilités de produits aquatiques d'eau douce n'augmentent par exemple que légèrement dans le scénario afin de tenir compte des tensions et des pressions existant déjà sur l'eau douce dans de nombreuses régions du monde.

L'hypothèse de moindres disponibilités de produits animaux et notamment de produits issus de ruminants en OCDE-1990 et d'une augmentation limitée dans les autres régions, tient aussi à l'impact environnemental et énergétique de la production animale. Le scénario *TechnoGarden* envisage également pour des raisons environnementales, une modification dans la consommation de viandes dans plusieurs régions.

D'une manière générale, l'étude des évolutions des disponibilités montrent une consommation élevée de protéines animales, dont la production utilise 1/4 des disponibilités en calories alimentaires d'origine végétale au niveau mondial (cf. figure 26).

Figure 26 : Usage des disponibilités à l'échelle mondiale 1961-2003.



Source : Dorin (cf. I.2 Agribiom et annexe 9)

Si l'on s'intéresse à la répartition qui s'opère, au sein de notre alimentation, entre calories d'origine végétale et celles fournies par les animaux, on constate que 84% des calories finales proviennent des produits végétaux (moyenne 2001-2003), faisant de l'agriculture - *stricto sensu* - la base de l'alimentation mondiale.

Nutritionnellement parlant, les calories animales ne représentent que 16 % des calories finales disponibles, mais économiquement, et du point de vue de l'environnement, leur importance s'avère beaucoup plus grande. En effet, les calories végétales (CV) servent à produire des calories animales (CA) ou bien directement des calories finales (CF) consommées par l'Homme. Lorsqu'on mesure le niveau calorique de la ration alimentaire d'un individu ou d'une population, on peut tenir compte de l'ensemble des calories végétales nécessaires à la production des calories finales. On parlera alors de calories initiales (CI). On peut ainsi calculer la ration alimentaire (exprimée en calories initiales) selon :

$$CI = CV + CA \times CT.$$

CT étant le coefficient de transformation indiquant le nombre de calories végétales nécessaires pour produire une calorie animale. Ce coefficient varie entre 4 et 14 suivant les animaux transformateurs considérés⁶⁸.

Cette distinction apparaît vite comme essentielle si l'on entend mesurer les besoins futurs. Elle permet de remonter ensuite vers l'ensemble des besoins en produits végétaux nécessaire à la production des aliments, puis d'évaluer les besoins en terre, en eau et en intrants, à partir des coefficients techniques de production.

On peut, avec cette méthode, refaire une estimation mondiale des disponibilités énergétiques (cf. tableau 10).

⁶⁸ Pour le porc, il faut 4 kg d'aliments sous forme de grains pour produire 1 kg de viande consommée. Le taux de conversion alimentaire est inférieur pour le poulet et beaucoup plus élevé pour le bœuf. Ce qui signifie que les animaux consomment (pour nous) environ 400 kg de grains de toute sorte pour ensuite les transformer en 80 kg de viande correspondant à notre consommation annuelle.

Tableau 10 : Disponibilités énergétiques alimentaires exprimées en calories initiales

Zones	Calories initiales totales (en Gkcal)		Coefficient multiplicateur des calories initiales entre 1961-1963 et 2001-2003	Part des calories initiales transformées en calories animales (en %)	
	Moyenne 1961-63	Moyenne 2001-03		Moyenne 1961-63	Moyenne 2001-03
Afrique du Nord - Moyen Orient	204	785	3,9	46	44
Afrique subsaharienne	263	840	3,1	32	30
Amérique Latine	398	1 299	3,3	57	63
Asie	1 389	5 852	4,2	24	50
Ex-URSS	650	726	1,1	64	64
OCDE-1990	2 475	3 953	1,6	74	75
Total monde	5 379	13 426	2,5	56	58

Ces données illustrent de manière brutale l'évolution de la consommation alimentaire mondiale. On y observe en premier lieu le fait que les calories initiales représentent au total deux fois les calories finales consommées par les humains (voir tableau 10). Pour une calorie finale, il faut donc produire deux calories végétales. Elles confirment, ensuite, l'extraordinaire progression asiatique en quarante ans (multiplication par 4,2 contre 2,5 en moyenne mondiale) et la stagnation de l'OCDE-1990⁶⁹. On y constate, aussi, le fait que la croissance des calories initiales demeure nettement supérieure, durant la période considérée, à celle de la population (multipliée par 2,5 contre 2 pour la population). Enfin, considérant en première approximation que 7 calories végétales sont nécessaires à la production d'une calorie animale, les produits animaux représentent l'équivalent de 58 % des calories initiales utilisées dans le monde.

Si la production de calories animales demande un volume conséquent de calories végétales, il est cependant important d'être prudent concernant l'impact environnemental des productions animales. En effet, on peut considérer que l'on trouverait un avantage à produire des animaux qui optimisent l'usage des ressources végétales (ils broutent de la pâture, et donc des fibres que les humains ne peuvent digérer). Cependant, les systèmes de production ont évolué au cours de ces quarante dernières années et la réponse à l'augmentation de la demande de viande bovine a été l'intensification des systèmes, qui s'est traduite, en général, par la diminution des pâtures et l'augmentation de concentrés, notamment des grains. Ainsi, alors que la production des ruminants a augmenté entre 1970 et 1995 de 40%, les surfaces en pâtures n'ont progressé que de 4% [Bouwman *et al*, 2005]. Or les ruminants ont des efficacités de conversion de l'amidon et de plantes protéagineuses en viande, plus faibles que les monogastriques [Bouwman *et al*, 2005]. Une étude montre notamment que, dans certains systèmes de bovins à viande, la surface cultivée nécessaire est trois fois plus importante que celle utilisée pour une même production de monogastriques [Wirsénus, 2003], bien que cette conclusion ne soit pas généralisable à tous les systèmes de production, notamment dans les pays en développement.

Des avantages de la production de ruminants résident encore dans la valorisation de terres souvent incultivables, par des animaux (zones d'altitude, de pentes, semi-arides...), et dans le stockage de carbone par ces surfaces. Mais la production de ruminants est également génératrice de gaz à effet de serre comme le méthane, le dioxyde de carbone et l'hémioxyde [Steinfeld *et al*, 2006], de manière directe (respiration, rumination) ou indirecte (alimentation animale, transformation, transport), cette dernière composante devenant de plus en plus importante avec l'intensification de la production. Enfin, les ruminants ont également des utilités diverses car ils représentent un capital pour leur propriétaire, ils fournissent des amendements organiques et sont souvent utilisés comme bêtes de trait, sans compter l'apport nutritionnel, lacté ou carné, ou encore une trésorerie régulière qu'ils offrent à des populations, souvent parmi les plus pauvres du monde en regard des critères économiques.

La production alimentaire utilise également des quantités d'eau très variables en fonction de la denrée produite : il faut 100 litres d'eau pour 1 kg de pomme de terre, 4600 litres pour 1 kg de viande de porc, 4100 litres pour 1kg de viande de poulet et 13 000 litres d'eau pour 1 kg de viande

⁶⁹ Toutefois, cette zone demeure de loin la première pour l'utilisation des calories animales dans la diète.

de bœuf [Zimmer et Renault, 2003]. Ces chiffres sont bien sûr des indications (calculées en Californie) et varient en fonction des sols, des climats, et des systèmes de production, notamment lorsque les porcs sont nourris à l'aide de déchets, mais donnent cependant une indication de l'écart qui existe entre les consommations d'eau des différentes denrées alimentaires.

Au point de vue énergétique, la conversion de la production de ruminants, nourris à partir des ressources pastorales locales, en une production de monogastriques demandant une production et le transport d'aliments sur de longues distances, est à l'origine des dépenses d'énergie supplémentaires considérables [Steinfeld *et al*, 2006]. Il faut par exemple aux Etats-Unis, 2700 kcal d'énergie fossile pour produire 100 kcal de porc et seulement 1600 kcal pour produire 100 kcal de bœuf [Pimentel, 1996].

D'une manière plus générale, la production, de même que la fabrication et la commercialisation d'aliments est fortement consommatrice d'énergie. L'ensemble de la chaîne alimentaire utiliserait aux Etats-Unis 17% de la consommation totale d'énergie fossile [Horrigan *et al.*, 2002]. En outre, le système utiliserait 100 kcal pour en produire 7,6 d'utiles [Eshel *et al*, 2006]. La surconsommation alimentaire entraîne donc une sur-utilisation d'énergie fossile, dommageables pour l'environnement.

Tableau 11 : Récapitulatif des hypothèses quantitatives relatives aux emplois agricoles des productions agricoles en 2000 et 2050 dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO

	Population (en millions)		Disponibilités totales (kcal/hab./j)		
	2000	2050 Agrimonde	2000	2050 Agrimonde 1	2050 Agrimonde GO
Afrique du Nord – Moyen Orient	352	631	3343	3000	3458
Afrique subsaharienne	659	1 661	2392	3000	2972
Amérique latine	515	773	3106	3000	3698
Asie	3 204	4 442	2776	3000	3702
Ex-URSS	281	239	3050	3000	3457
OCDE-1990	961	1 066	3931	3000	4099
Monde	5 973	8 812	2962	3000	3590

Sources : d'après Carpenter *et al.* (2005), Dorin (cf. I.2 Agribiom)

II.2.2 Les hypothèses quantitatives relatives aux ressources agricoles

Dans le scénario Agrimonde 1, la quantification des ressources agricoles est réalisée à l'échelle de chaque région et se fonde :

- pour les ressources en calories végétales, sur le chiffrage des surfaces alimentaires et du rendement des cultures,
- pour les ressources en calories d'origine animale, sur le chiffrage des surfaces pâturées et sur l'utilisation des fonctions de production animale régionales présentées dans la section I.2.1.8.

Nous nous attacherons ici à retracer, dans un premier temps, les principes retenus par le groupe de travail pour la construction des hypothèses sur les surfaces, et à rappeler les arguments qui ont motivé le choix de ces hypothèses région par région avant de présenter un récapitulatif au niveau mondial. La présentation des hypothèses sur les rendements des cultures alimentaires suit le même plan.

II.2.2.1 Quelles occupations des sols en 2050 ?

Les principes retenus pour construire les hypothèses

Deux approches prédominent dans les travaux prospectifs relatifs aux surfaces cultivées. Dans certains travaux, les évolutions possibles des terres arables sont une sortie de modèles d'équilibre de l'offre et de la demande alimentaire. En d'autres termes, le chiffrage des surfaces agricoles dépend à la fois du niveau de la demande alimentaire et de celui des autres paramètres qui influencent l'offre tels que le niveau de rendement, les surfaces et l'efficacité de l'irrigation⁷⁰, l'intensité culturale mais aussi le niveau de dégradation de la fertilité des sols, la conversion des terres agricoles en terres urbaines, etc. Cette approche est notamment utilisée, sur la base du modèle IMPACT, dans la construction des scénarios du MEA [Carpenter et al., 2005], les différentes études de l'IFPRI ([Von Braun, 2005], [Rosegrant et al., 2002], [Rosegrant et al., 2001]) et diverses autres études sur des points plus spécifiques comme le développement des surfaces plantées en agro-carburants [Hoogwijk et al., 2003]. D'autres modèles peuvent être utilisés, comme dans la construction des scénarios PRELUDE pour l'Europe de l'Agence Européenne de l'Environnement [EEA, 2007]. La seconde approche consiste à formuler des hypothèses d'évolution des surfaces arables en fonction d'une estimation du potentiel cultivable. C'est le cas dans les projections agricoles de la FAO ([FAO, 2002], [FAO, 2000]) et dans le scénario proposé par Michel Griffon [Griffon, 2006].

Dans les scénarios du MEA, l'extension des surfaces cultivées est une des composantes de l'équation qui vise à équilibrer la production alimentaire avec la demande. Les hypothèses de surfaces cultivées futures varient donc selon que le niveau de population est bas et le niveau d'intensification agricole haut (*Global Orchestration*) ou que la demande en produits carnés est réduite (*Adapting Mosaic* et *TechnoGarden*) ou que la pression démographique est élevée et les rendements bas (*Order from Strength*) (plus les rendements sont élevés, moins les surfaces cultivées sont grandes). Ainsi, tous les scénarios du MEA voient leurs surfaces augmenter mais dans des proportions différentes et pour des raisons différentes (cf. figure 27).

L'évolution des surfaces dans le scénario Agrimonde GO est la même que dans le scénario *Global Orchestration* du MEA. Cependant, les experts du MEA n'ont pas fondé leurs hypothèses de surfaces sur les mêmes données statistiques passées qu'Agribiom. Par conséquent, nous avons adapté les hypothèses quantitatives faites pour *Global Orchestration* dans le cadre du MEA de façon à les rendre comparables avec les hypothèses de surface faites dans Agrimonde 1 (cf. annexe 14 et tableau 12 pour davantage de précisions).

Dans le scénario Agrimonde 1, la formulation des hypothèses quantitatives relatives aux surfaces cultivées en 2050 s'est inscrite dans une logique différente de celle qui a prévalu pour les scénarios du MEA. Ce sont les facteurs physiques de disponibilité et de qualité des sols confrontés à des critères de durabilité qui ont guidé la construction des hypothèses, tels que la préservation d'espaces forestiers, pourvoyeurs de nombreux services écologiques.

Concrètement, le groupe de travail a d'abord cherché à identifier les réserves de terres cultivables dans chaque région. Puis, il a procédé au chiffrage des différents types de surfaces agricoles du scénario Agrimonde 1, région par région, en commençant par déterminer la répartition des surfaces entre les espaces cultivés, prairiaux et forestiers, puis en précisant quelle part des surfaces cultivées sera irriguée, et enfin, quelle part sera dédiée aux agro-carburants. Ainsi, pour construire les hypothèses relatives aux surfaces, le groupe de travail a procédé en trois étapes : 1) l'identification des réserves de terres potentiellement cultivables de chaque région, 2) le chiffrage des surfaces nouvellement cultivées et des nouveaux périmètres irrigués en 2050, et par conséquent, des surfaces en forêt et en pâture restantes, 3) le chiffrage spécifique des surfaces dédiées à la production d'agro-carburants.

1- L'identification des réserves de terres potentiellement cultivables de chaque région, qui pourraient permettre à l'avenir l'augmentation de la production régionale. Pour cela, le groupe de travail s'est appuyé sur les estimations des surfaces aptes à l'agriculture dans chaque région du monde, données par la FAO (2002) ainsi que par le rapport GAEZ [Fischer et al. 2000, 2001, 2002]. Ce dernier distingue cinq niveaux de potentiels cultivables en fonction du potentiel de rendement des sols :

⁷⁰ « L'efficacité de l'irrigation sur un périmètre est le rapport entre le volume d'eau prélevé ou pompé en tête de réseau, et la quantité effectivement utilisée (évapotranspirée) par les cultures, à laquelle on ajoute les besoins liés au maintien d'une lame d'eau dans le cas du riz » [CIRAD-GRET-MAE, 2002].

1. Superficie de terres dont le potentiel de rendement est supérieur à 80% du rendement maximal en agriculture pluviale ou pluviale et irriguée (VS),
2. Superficie dont le potentiel de rendement est supérieur à 60% du rendement maximal (VS+S),
3. Superficie dont le potentiel de rendement est supérieur à 40% (VS+S+MS),
4. Superficie dont le potentiel de rendement est supérieur à 20% (VS+S+MS+mS),
5. Superficie dont le potentiel de rendement est inférieur à 20% (VS+S+MS+mS+NS).

Le rapport GAEZ propose en outre un calcul du gain apporté par l'irrigation en fonction des données physiques locales (topographie, texture du sol, drainage du sol, ...) permettant ou non d'équiper les surfaces cultivées en irrigation, mais indépendamment de la ressource en eau disponible (cf. section I.2.1.5).

2- Le chiffrage des surfaces nouvellement cultivées et des nouveaux périmètres irrigués en 2050, et par conséquent, des surfaces en forêt et en pâture restantes.

Il s'est fondé sur l'analyse, dans chaque région :

- du potentiel cultivable en agriculture pluviale et irriguée, tel qu'il est proposé dans les études de la FAO et de GAEZ ;
- des dynamiques passées d'occupation des sols des différents types de surfaces envisagés dans le scénario Agrimonde 1⁷¹ ;
- des hypothèses réalisées dans d'autres exercices de prospective agricole au niveau mondial : scénarios du MEA, de M. Griffon, de l'IFPRI-IWMI...,
- des facteurs susceptibles de favoriser une extension des surfaces agricoles ou au contraire leur recul, comme l'impact du changement climatique sur l'évolution du potentiel cultivable, les pressions sociales diverses qui pourraient s'exercer en faveur de la conservation de la biodiversité, etc.

La conversion des terres porte à la fois sur les espaces forestiers et sur les herbages. Le groupe de travail a cherché, dans chaque région, à établir une règle de répartition entre proportion des terres prises sur les forêts et proportion prise sur les pâtures qui limite les impacts environnementaux de la progression des terres agricoles. En particulier, il s'est attaché à limiter la déforestation, même lorsque cela supposait de fortes ruptures de tendance.

3- Le chiffrage spécifique des surfaces dédiées à la production d'agro-carburants.

Une analyse particulière a été menée sur les différentes formes de productions énergétiques à partir de la biomasse envisageables en 2050, sur des surfaces dédiées. Le groupe de travail a fait l'hypothèse qu'une nouvelle génération d'agro-carburants, produits à partir de ligno-cellulose ou de sous-produits alimentaires (huile de friture ou autres déchets ménagers par exemple) voir à partir de micro-algues à haut rendement lipidique, aura émergé d'ici à 2050. Elle présenterait l'intérêt de faire porter l'effort de production énergétique sur des espaces non substitués aux surfaces agricoles, particulièrement sur les forêts en tirant profit de leur capacité de régénération. Ainsi, l'ordre de grandeur des surfaces agricoles occupées par des cultures ou plantations énergétiques est inférieur à 10% de la surface cultivée dans la plupart des régions du monde dans le scénario Agrimonde 1. Après analyse des tendances à l'œuvre, ce seuil a toutefois été dépassé pour les régions Amérique latine et OCDE-1990 où les surfaces énergétiques pourront atteindre jusqu'à 20% de la surface cultivée.

⁷¹ Dans le scénario Agrimonde 1, six types de surfaces sont distinguées : (i) les surfaces en cultures et plantations incluant (ii) les surfaces irriguées et (iii) les surfaces dédiées à la production de biomasse non alimentaire, (iv) les surfaces en pâture, (v) les surfaces en forêt et (vi) les surfaces immergées et autres (incluant surfaces habitées, infrastructures, montagne). Pour plus de précisions, se référer au chapitre I.2.

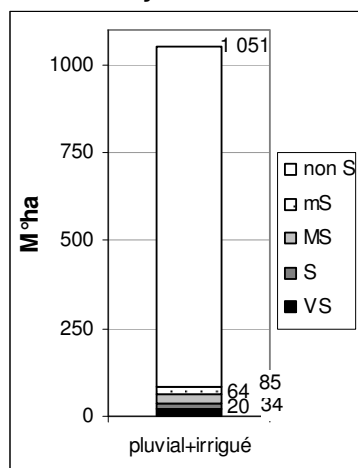
**Figure 27 : Les hypothèses de surfaces cultivées
dans les scénarios du Millenium Ecosystem Assessment**

Mondialisation	
Global Orchestration	TechnoGarden
<p>L'essentiel des nouvelles surfaces cultivées est consacré à l'énergie (biocombustibles et agro-carburants). La faible part de terres nouvelles (5%) destinées à produire des denrées alimentaires s'explique par la forte augmentation des rendements notamment grâce au développement technologique rapide et aux investissements dans la recherche agricole. L'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne sont les régions disposant en 2050 des plus grandes surfaces nouvellement cultivées.</p> <p>Les surfaces irriguées augmentent par contre au niveau mondial de 0,18% par an et passent ainsi de 239 à 262 millions d'hectares. Cet accroissement demande de très forts investissements dans les systèmes d'irrigation. L'Amérique latine est la région où se concentre la plus forte progression des surfaces irriguées (+0,5% par an) suivi de l'Afrique subsaharienne (+0,3% par an)</p> <p>Cette augmentation modérée des surfaces laisse la place au développement des agro-carburants dont la production est poussée par la hausse des prix énergétiques, consécutifs à l'importante croissance économique à l'œuvre. La région OCDE 1990 et l'Amérique latine accueillent la majorité des nouvelles terres destinées aux agro-carburants.</p>	<p>Ce scénario se distingue des autres car, si les surfaces agricoles totales augmentent, les surfaces cultivées en céréales diminuent. Les raisons principales sont : (i) Une progression des rendements qui rend inutile une expansion des surfaces vers les terres marginales ; (ii) Une amélioration de l'utilisation des sols grâce à de nouvelles technologies appliquées aux surfaces existantes ; (iii) Une augmentation des programmes de conservation pour la biodiversité.</p> <p>En 2050, par rapport au début du siècle, les surfaces de céréales ont diminué de 10% en OCDE-1990, de 7% en FSU et de 6% en Asie. Mais elles ont augmenté de 37% en Afrique subsaharienne, de 9% en Amérique latine et de 7% en MENA. Les surfaces irriguées sont de 253 millions d'hectares en 2050, soit le chiffre le plus important après le scénario Global Orchestration.</p> <p>La progression de ces surfaces est forte en Amérique latine, en Afrique subsaharienne, en Afrique du Nord – Moyen Orient</p>
Réactivité	Proactivité
Order from Strength	Adapting Mosaic
<p>Les faibles augmentations de rendements, la forte croissance démographique ainsi que le maintien de barrières commerciales, comme les droits de douanes et les quotas, rendent nécessaire l'utilisation de plus grandes surfaces destinées à la production alimentaire. Les surfaces irriguées sont stables : au niveau mondial elles passent de 239 millions d'hectares à 240 millions d'ha. Cette stabilité recouvre des évolutions différentes selon les régions : les surfaces irriguées diminuent en Asie et en ex-Union Soviétique et elles augmentent en Amérique latine et en Afrique subsaharienne. Dans de nombreux pays, les problèmes budgétaires obligent à réduire considérablement les dépenses dans les systèmes d'irrigation.</p> <p>Une intense compétition s'engage entre production énergétique et production alimentaire, renchérissant le coût des agro-carburants. Dans le même temps, la lente croissance économique modère la demande en énergie. Ces deux facteurs expliquent la faible croissance des terres réservées à la production de biocombustibles et d'agro-carburants (la plus faible des 4 scénarios).</p>	<p>Même si la demande alimentaire n'est pas très forte, la faible évolution des rendements conduit à une augmentation significative de la surface agricole. L'Afrique subsaharienne, l'Amérique latine et Afrique du Nord – Moyen Orient accueillent la majorité des nouvelles terres cultivées en céréales en 2050. Les surfaces irriguées ne progressent que très lentement jusqu'en 2050 (0,06% / an) pour atteindre 246 millions d'hectares. Elles augmentent cependant fortement en Afrique subsaharienne et en Amérique latine.</p> <p>Adapting Mosaic est un scénario intermédiaire : la croissance économique et la productivité agricole sont supérieures à celles constatées dans Order from Strength mais inférieures aux autres scénarios. Par conséquent, la demande d'énergie est supérieure à celle mesurée dans Order from Strength mais la compétition pour les terres est moins intense. Les surfaces consacrées à l'énergie et aux biocombustibles en particulier sont donc supérieures à celles d'Order from Strength mais inférieures à celles de TechnoGarden.</p>
Régionalisation	

| **Source :** d'après Carpenter et al. (2005)

Quelle occupation des sols en Afrique du Nord – Moyen Orient en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 ?

Figure 28 :
Potentiels cultivables de la
région Afrique du Nord –
Moyen Orient



Source : cf. I.2 Agribiom et annexe 6

déjà presque épuisées en Afrique du Nord – Moyen Orient et que le potentiel encore disponible dépend essentiellement de l'irrigation.

Compte tenu de la quasi-saturation du potentiel cultivable en Afrique du Nord – Moyen Orient et du fait que ce potentiel risque de se réduire encore du fait du réchauffement climatique⁷², **l'hypothèse de surface cultivée du scénario Agrimonde 1 est de 90 millions d'hectares** (0,14% par an), soit seulement 7 millions d'hectares nouvellement cultivés, correspondant à des espaces inexploités aptes à l'agriculture pluviale en zone semi-aride. Cette hypothèse correspond à la mise en culture de la totalité des terres au potentiel de rendement supérieur à 20% du rendement maximal. Elle reste très légèrement inférieure à l'hypothèse basse envisagée dans les scénarios du MEA (96 millions d'hectares dans *Global Orchestration*) et à celle envisagée dans le scénario de M. Griffon (99 millions d'hectares) (cf. figure 29 et graphique 3). Bien que modeste, cet accroissement est proche d'un prolongement des tendances observées entre 1961 et 2000 (+ 0,33% par an) qui mènerait à cultiver 98 millions d'hectares en 2050. Le groupe de travail a en outre fait l'hypothèse que les 6 millions d'hectares mis en culture seront pris sur des surfaces en pâture, estimant que les espaces forestiers devront être préservés pour protéger les ressources en eau. Ceci implique un renversement de la tendance à l'accroissement des terres pâturées (- 0,04% par an entre 2000 et 2050 contre + 0,85% par an entre 1961 et 2000) et un arrêt de la déforestation observée entre 1961 et 2000 à raison de 1,01 %par an.

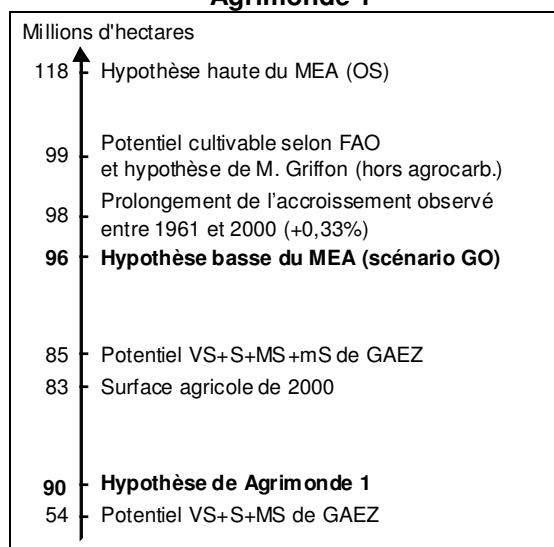
En Afrique du Nord – Moyen Orient, 53% des ressources en eau renouvelable étaient déjà mobilisés par l'irrigation en 1997-1999 [FAO, 2002]. Cette région a donc déjà dépassé le seuil des 40%, à partir duquel on considère que la disponibilité en eau devient un facteur critique⁷³ [FAO, 2002]. Considérant que dans cette région la pression sur l'eau est déjà considérable, l'efficacité de l'irrigation relativement élevée (40% [FAO, 2002]), et que le changement climatique pourrait fortement accentuer le stress hydrique, le scénario Agrimonde 1 n'envisage pas d'augmentation des périmètres irrigués. Cette hypothèse se retrouve également dans les scénarios du MEA où les surfaces irriguées passent de 10 à 10,9 millions d'hectares entre 2000 et 2050 dans l'hypothèse la plus haute (scénario *TechnoGarden*) (cf. graphique 4) et dans les scénarios de l'IFPRI-IWMI à 2025

⁷² Le GIEC ne chiffre pas les changements de température et de pluviométrie à 2050. En revanche, les élévations de températures pourraient atteindre jusqu'à + 4°C et la pluviométrie diminuer de 20% en Afrique du Nord et Moyen-Orient d'ici 2100 [IPCC, 2007b].

⁷³ La Libye et l'Arabie Saoudite utilisent déjà annuellement plus d'eau d'irrigation que n'en fournissent leurs ressources renouvelables, en puisant sur les réserves fossiles d'eau souterraine [FAO, 2002].

où les surfaces céréalières irriguées passent de 9,8 à 10,8 millions d'hectares entre 1995 et 2025 dans l'hypothèse la plus haute (scénario BAU)⁷⁴.

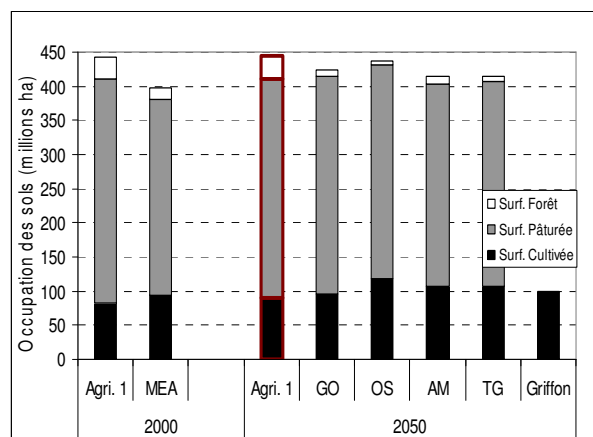
Figure 29 :
Repères pour la quantification des surfaces cultivées et plantées en 2050 en Afrique du Nord – Moyen Orient dans le scénario Agrimonde 1



Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Fischer et al. (2000), (2001), (2002), FAO (2002) et Griffon (2006)

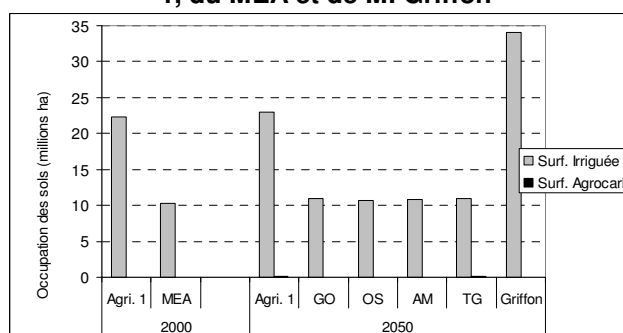
Enfin, dans un contexte où l'espace agricole est déjà limité pour la production alimentaire, il n'a pas semblé cohérent dans le scénario Agrimonde 1 d'envisager une place significative aux cultures dédiées à la production d'agro-carburants. Celle-ci atteint d'ailleurs au maximum 0,2 millions d'hectares dans les scénarios du MEA (*TechnoGarden*)⁷⁵.

Graphique 3 :
Occupation des sols en Afrique du Nord – Moyen Orient en 2000 et 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon



Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

Graphique 4 :
Afrique du Nord – Moyen Orient : Surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agro-carburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon



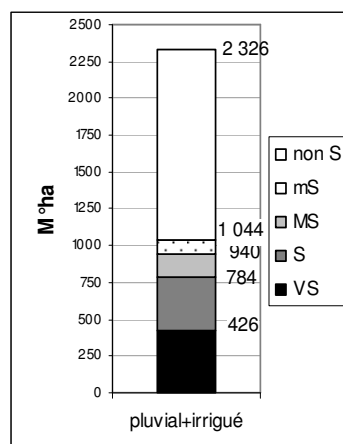
Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

⁷⁴ Dans son étude « *World Water and Food to 2025: Dealing with scarcity* », l'IFPRI-IWMI envisage trois scénarios aux surfaces en céréales irriguées variant en Afrique du Nord et Moyen Orient de 10,1 millions d'hectares dans le scénario « Crise mondiale de l'eau » (CRI), à 10,3 dans le scénario « Gestion durable des ressources en eau » (SUS), à 10,8 dans le scénario « Maintien des orientations actuelles » (BAU) en 2030 par rapport à une référence de 9,8 millions d'hectares en 1995 [Rosegrant et al., 2002].

⁷⁵ Outre les surfaces en agro-carburants, le MEA inclut dans ce chiffrage les surfaces dédiées à la filière « bois énergie ».

Quelle occupation des sols en Afrique subsaharienne en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 ?

Figure 30 :
Potentiels cultivables de la
région Afrique
subsaharienne



Source : cf. I.2 Agribiom et annexe 6

D'après la FAO, entre 1961 et 2000, les surfaces cultivées en Afrique subsaharienne ont cru de 0,74% par an, les surfaces irriguées de 1,79% par an (soit un doublement entre 1961 et 2000) et les pâtures de 0,05% par an. En parallèle, l'espace forestier s'est réduit de 0,27% par an.

En 2000, environ 190 millions d'hectares étaient cultivés en Afrique subsaharienne. Or, le potentiel cultivable pour un rendement supérieur à 80 % du rendement maximal (VS) en agriculture pluviale et irriguée est évalué dans le rapport GAEZ [Fischer et al. 2000, 2001, 2002] à 426 millions d'hectares, soit plus du double des terres effectivement cultivées en 2000 (cf. figure 30). Pour un rendement supérieur à 60 % du rendement maximal (VS + S), il s'approcherait des 800 millions d'hectares, soit quatre fois les surfaces en culture de 2000. Enfin, d'après la FAO, le total des terres aptes à l'agriculture atteindrait 1 031 millions d'hectares, plus de cinq fois les terres agricoles de 2000 [FAO, 2002].

La simple évocation de ces chiffres révèle à quel point les réserves de surfaces aptes à l'agriculture sont considérables dans cette région et peuvent permettre l'élaboration de scénarios les plus divers en termes d'occupation des sols.

Ainsi, un scénario qui prolongerait le même taux de croissance des terres cultivées jusqu'en 2050 que celui observé entre 1961 et 2000 ferait l'hypothèse d'une surface cultivée de 278 millions d'hectares en 2050. L'ordre de grandeur dans lequel s'inscrivent les scénarios du MEA, avec une surface cultivée comprise entre 291 et 337 millions d'hectares en 2050, est légèrement supérieur. Cette croissance modérée des surfaces cultivées y serait compensée par la progression des autres facteurs de gains de production, dont les rendements.

Michel Griffon fait l'hypothèse inverse ; considérant que la capacité de la région Afrique subsaharienne à augmenter les rendements agricoles à l'avenir est faible, il envisage un quadruplement des surfaces cultivées d'ici 2050. Celles-ci se situeraient alors autour de 840 millions d'hectares, un chiffre compris entre la mise en culture des terres au potentiel de rendement supérieur à 60 % du rendement maximal (VS+S selon GAEZ) et celle des terres au potentiel de rendement supérieur à 40 % du rendement maximal (VS+S+MS).

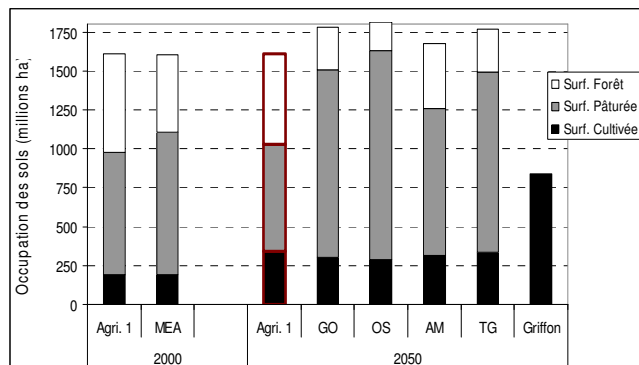
Dans le scénario Agrimonde 1, l'hypothèse de surface cultivée correspond à environ 340 millions d'hectares cultivés en 2050 (soit + 1,14% par an entre 2000 et 2050), **dont presque 40 millions dédiés aux surfaces énergétiques**. Cette surface correspond à la mise en culture de 80% des terres dont le rendement potentiel est supérieur à 80% du rendement maximal et à l'hypothèse haute des scénarios du MEA (337 millions d'hectares dans le scénario *TechnoGarden*) (cf. graphique 5 et figure 31). Le scénario Agrimonde 1 se voulant volontariste en matière de protection de la forêt, le groupe de travail a en outre fait l'hypothèse que les nouvelles surfaces seront prises pour 60% sur un front pionnier sur la savane et pour 40% sur les forêts. Ceci implique un renversement de la tendance à l'accroissement des terres pâturées (- 0,24% par an entre 2000 et 2050) et une diminution du taux de déforestation annuel (0,19% par an) par rapport à celui observé entre 1961 et 2000 (0,27% par an).

Les chiffres relatifs aux surfaces irriguées dans la région Afrique subsaharienne sont très variables selon les sources. L'IFPRI-IWMI estime à seulement 3,3 millions d'hectares la surface céréalière irriguée de cette région en 1995 mais envisage un taux d'accroissement annuel de ces surfaces de 1,11%⁷⁶ dans le scénario SUS « Gestion durable des ressources en eau ». Un tel taux permettrait de pratiquement doubler les superficies irriguées en 50 ans. En revanche, le MEA se fonde sur 13,2

⁷⁶ Dans son étude « *World Water and Food to 2025: Dealing with scarcity* », l'IFPRI-IWMI envisage trois scénarios avec des taux d'accroissement annuel des surfaces irriguées en céréales variant en Afrique subsaharienne de + 1,11% dans le scénario « Gestion durable des ressources en eau » (SUS), à + 1,26% dans le scénario « Crise mondiale de l'eau » (CRI), et + 1,33 % dans le scénario « Maintien des orientations actuelles » (BAU) [Rosegrant et al., 2002].

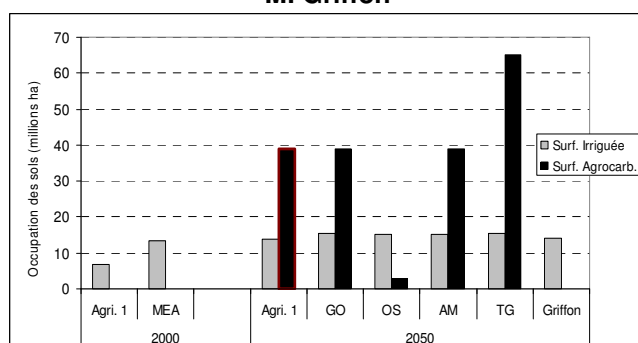
millions d'hectares irrigués en 2000 et envisage une progression de cette surface de seulement 0,27 à 0,30% par an d'ici à 2050 (cf. graphique 6).

Graphique 5 :
Afrique subsaharienne : Occupation des sols en 2000 et 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon



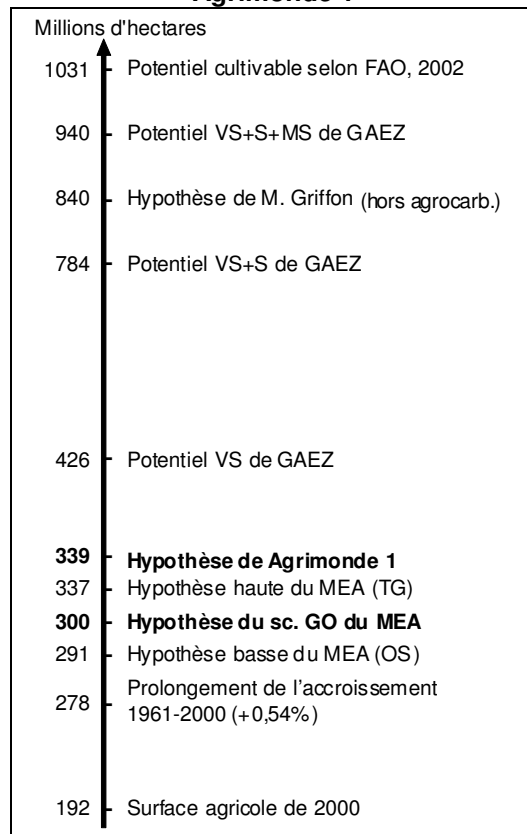
Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

Graphique 6 :
Afrique subsaharienne : Surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agro-carburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon



Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

Figure 31 :
Repères pour la quantification des surfaces cultivées et plantées en 2050 en Afrique subsaharienne dans le scénario Agrimonde 1



Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Fischer et al. (2000), (2001), (2002), FAO (2002) et Griffon (2006)

Pour sa part, le groupe de travail Agrimonde s'est appuyé sur le chiffrage de la FAO estimant les surfaces irriguées à 6,75 millions d'hectares en 2000 (compris dans les 190 millions d'hectares cultivés), soit un doublement par rapport aux surfaces de 1961. Il a choisi de reconduire ce doublement d'ici 2050 pour atteindre une superficie irriguée de 14 millions d'hectares en 2050, soit le même ordre de grandeur que les superficies envisagées dans les scénarios du MEA (entre 15,1 et 15,5 millions d'hectares, et une progression proche de celle envisagée dans le scénario de l'IFPRI-IWMI à 2025 BAU « Maintien des orientations actuelles » (+1,45% par an dans Agrimonde 1, + 1,33 % par an dans le scénario BAU de l'IFRI-IWMI). Cette hypothèse s'inscrit dans une volonté de valorisation des ressources hydriques de la région, sachant que seulement 2% de l'eau renouvelable disponible pour l'irrigation est utilisée en Afrique subsaharienne aujourd'hui [FAO, 2002].

Enfin, dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces dédiées aux agro-carburants se développent en Afrique subsaharienne dans la même proportion que dans les scénarios *Global Orchestration* et *Adapting Mosaic* du MEA (39 millions d'hectares⁷⁷) (cf. graphique 6). Il s'agit d'un développement moyen à l'échelle des scénarios du MEA où ces surfaces varient de 3 millions d'hectares dans *Order from Strength* à 65 millions d'hectares dans *TechnoGarden*. Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces dédiées aux agro-carburants permettent avant tout de satisfaire la demande locale.

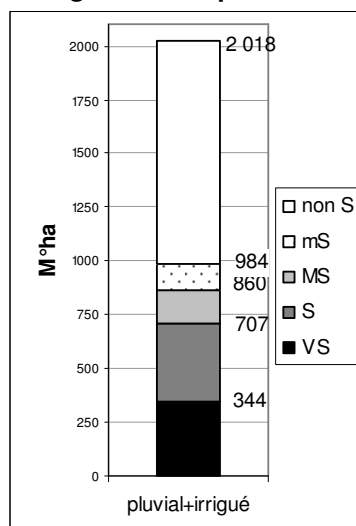
⁷⁷ Outre les surfaces en agro-carburants, le MEA inclut dans ce chiffrage les surfaces dédiées à la filière « bois énergie ».

Effectivement, les structures d'entreprises agricoles ne poussent pas à un développement de grande ampleur de ces cultures, en particulier dans la zone sahélienne. Néanmoins, quelques sites industriels produisant des agro-carburants de seconde génération auront pu être installés, notamment grâce à des capitaux étrangers, pour valoriser la biomasse du bassin du Congo et des plantations en Afrique du Sud.

Pour résumer, les hypothèses relatives aux surfaces cultivées en Afrique subsaharienne dans le scénario Agrimonde 1 restent modérées en regard de la grande réserve de terres aptes à la culture de cette région. Elles restent compatibles avec l'hypothèse formulée par le GIEC d'une aridification de la zone sahélienne et du Sud de l'Afrique⁷⁸, qui pourrait réduire le potentiel cultivable estimé jusqu'à présent. Elles se traduiraient par un grignotage du pourtour du bassin forestier du Congo, principalement dans sa partie Est, et par la diminution d'une grande part des terres en jachère dans la zone de savane de l'Afrique de l'Ouest. Les implications de cette perte d'espaces naturels et semi-naturels sont discutées dans le chapitre II.4.

Quelle occupation des sols en Amérique latine en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 ?

Figure 32 :
Potentiels cultivables de la
région Amérique latine



Source : cf. I.2 Agribiom et annexe 6

chez M. Griffon).

D'après la FAO, entre 1961 et 2000, les surfaces cultivées en Amérique latine ont cru de 1,19% par an, les surfaces irriguées de 1,83% par an (soit un doublement entre 1961 et 2000) et les pâtures de 0,79% par an. En parallèle, l'espace forestier s'est réduit de 0,15% par an.

En 2000, environ 160 millions d'hectares étaient cultivés en Amérique latine et les réserves de terres cultivables étaient encore considérables. Effectivement, le potentiel cultivable pour un rendement supérieur à 80% du rendement maximal (VS) en agriculture pluviale et irriguée est estimé à plus du double de cette surface [Fischer et al. 2000, 2001, 2002] (cf. figure 32) et le total des terres aptes à l'agriculture évalué par la FAO est six fois et demi supérieur [FAO, 2002].

Comme en Afrique subsaharienne, un tel potentiel agricole inexploité autorise une grande latitude dans l'élaboration de scénarios prospectifs. Néanmoins, les ordres de grandeur de l'extension de l'espace cultivé retenus dans les différents scénarios du MEA et de M. Griffon sont relativement resserrés puisqu'ils vont de une fois et demie à deux fois et demie la surface de 2000, soit respectivement 265 millions d'hectares dans *Global Orchestration* et 427 millions d'hectares dans l'hypothèse haute de M. Griffon (hors surfaces en agro-carburants

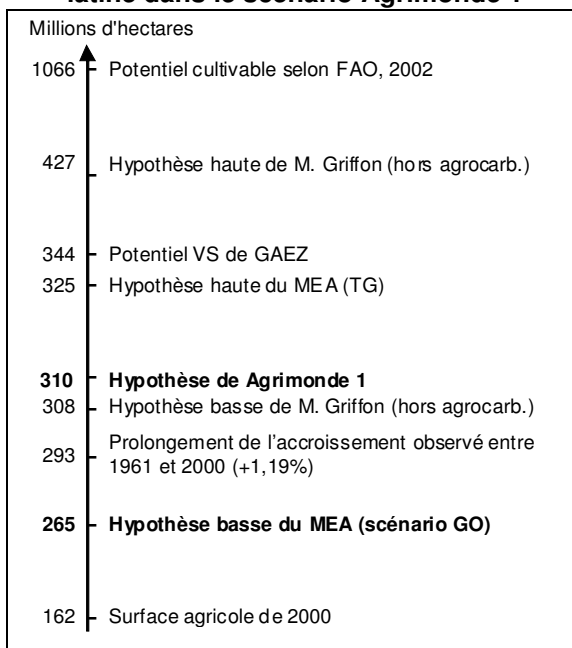
Dans le scénario Agrimonde 1, la surface cultivée double d'ici 2050, soient 310 millions d'hectares cultivés en 2050 (dont 60 millions consacrés à la culture d'agro-carburants). Ce chiffre s'inscrit dans la fourchette donnée par les scénarios du MEA (entre 265 et 325 millions d'hectares) et correspond à la borne basse retenue par M. Griffon (308 millions d'hectares, surfaces en agro-carburants non comprises) (cf. figure 33 et graphique 7). En termes de tendance, une telle hypothèse implique un taux d'accroissement des terres cultivées légèrement supérieur à celui observé entre 1961 et 2000 (+ 1,31 % entre 2000 et 2050 contre + 1,19 entre 1961 et 2000). En outre, le groupe de travail a fait l'hypothèse d'une préservation des espaces forestiers latino-américains, les nouvelles surfaces cultivées sont donc prises pour trois-quarts sur les pâtures et pour un quart sur les forêts. Ceci implique un renversement très significatif de la tendance à l'accroissement des terres pâturées (- 0,44% par an entre 2000 et 2050 contre + 0,47% par an entre 1961 et 2000) et une diminution drastique du taux de déforestation (- 0,24% par an entre 1961 et 2000 contre - 0,08% par an entre 2000 et 2050).

⁷⁸ Le GIEC ne chiffre pas les changements de température et de pluviométrie à 2050. En revanche d'ici à 2100, les élévations de températures pourraient atteindre jusqu'à + 5°C dans l'ouest du Sahel et en Afrique du Sud. La pluviométrie devrait devenir beaucoup plus erratique, augmentant jusqu'à + 20% dans la zone soudano-éthiopienne en saison des pluies et se réduisant de 20% dans la même zone en saison sèche [IPCC, 2007b].

Seulement 1% des ressources en eau renouvelables sont prélevées par l'irrigation en Amérique latine [FAO, 2002]. L'agriculture est essentiellement pluviale, sauf dans quelques zones désertiques et sur la côte Ouest. En outre, le potentiel cultivable en agriculture pluviale est considérable et très proche du potentiel cultivable en agriculture pluviale et irriguée (320 millions d'hectares au potentiel de rendement supérieur à 80% du rendement maximal en agriculture pluviale contre 344 millions d'hectares en agriculture pluviale et irriguée). Le groupe de travail a par conséquent considéré que l'irrigation ne sera pas un moyen central pour assurer l'extension des terres cultivées envisagée dans le scénario Agrimonde 1 et que les surfaces irriguées se maintiendront à peu près au même niveau qu'en 2000. Cette hypothèse est proche de celle formulée dans les autres scénarios (+ 3 millions d'hectares en 50 ans dans les scénarios du MEA, + 2 millions d'hectares en 30 ans pour les surfaces céréalières dans les scénarios de l'IFPRI-IWMI) même si les surfaces irriguées de l'année de référence sont très variables d'un scénario à l'autre. Elles sont estimées à 19 millions d'hectares en 2000 dans le scénario Agrimonde 1 (d'après la FAO), à seulement 9 millions dans les scénarios du MEA en 2000 et 7,5 millions pour les surfaces irriguées en céréales en 1995 d'après l'IFPRI-IWMI à 2025 [Rosegrant et al., 2002].

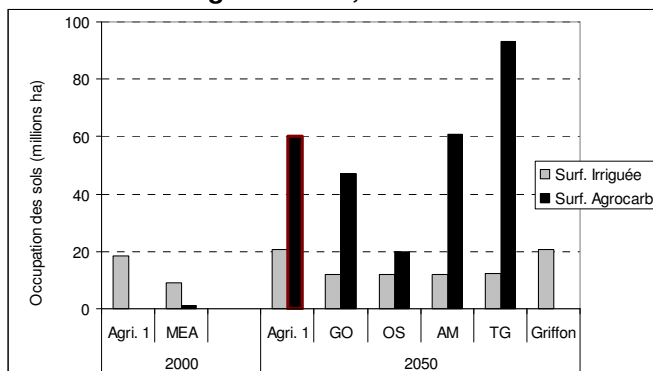
En Amérique latine, les filières « agro-carburants » ont connu une forte avancée à la fin du XX^{ème} siècle et au début du XXI^{ème} siècle, en particulier les filières « canne-à-sucre » et « soja ». Le montant des investissements engagés, les capacités techniques mises en place ainsi que la grande disponibilité de terres cultivables sont autant d'incitations à la poursuite de leur développement. Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces dédiées à la production d'agro-carburant continueront à se développer. Dans un premier temps, elles serviront la production régionale d'agro-carburants de 1^{ère} génération, puis des industries plus lourdes produisant des agro-carburants de seconde génération à partir de ligno-cellulose se mettront en place un peu avant 2050. De même, l'hypothèse est faite que certains pays comme le Brésil, riches en eau douce et marine, développeront leurs capacités à produire des agro-carburants à partir des algues. Avec 60 millions d'hectares dédiés aux cultures énergétiques (ou 19% des surfaces cultivées), la surface envisagée dans le scénario Agrimonde 1 se situe dans la même fourchette que les hypothèses des scénarios du MEA (entre 47 et 97 millions d'hectares⁷⁹), plus précisément au même niveau que dans le scénario *Adapting Mosaic* (cf. graphique 8).

Figure 33 :
Repères pour la quantification des surfaces cultivées et plantées en 2050 en Amérique latine dans le scénario Agrimonde 1



Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Fischer et al. (2000), (2001), (2002), FAO (2002) et Griffon (2006)

Graphique 8 :
Amérique latine : Surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agro-carburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon

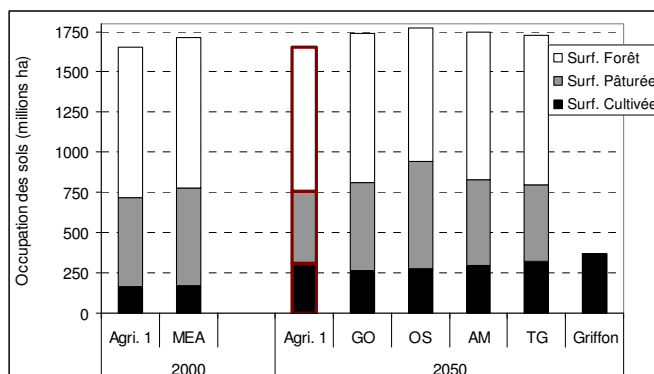


Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

⁷⁹ Outre les surfaces en agro-carburants, le MEA inclut dans ce chiffrage les surfaces dédiées à la filière « bois énergie ».

En somme, le potentiel agricole de la région Amérique latine est indiscutable mais le scénario Agrimonde 1 suppose un développement modéré des surfaces en culture permettant la préservation des forêts en 2050. Une part non négligeable des surfaces en savanes (*cerrado*) ou en pâtures est alors utilisée pour la culture. Les systèmes de production adoptés sur ces espaces, ainsi que les incitations qui ont présidé à la mise en œuvre de mesures de préservation de la forêt sont précisés dans le chapitre II.4.

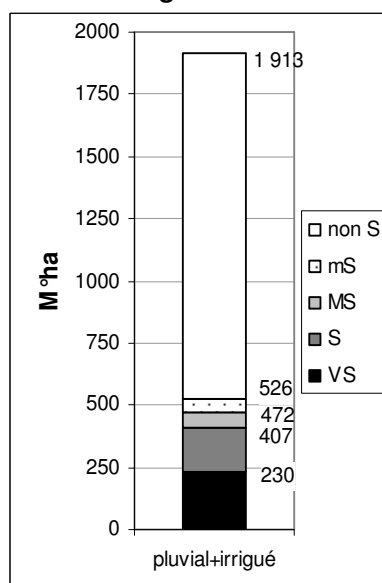
**Graphique 7 :
Amérique latine : Occupation des sols en 2000 et 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon**



Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

Quelle occupation des sols en Asie en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 ?

**Figure 34 :
Potentiels cultivables de la région Asie**



Source : cf. I.2 Agribiom et annexe 6

D'après la FAO, entre 1961 et 2000, les surfaces cultivées en Asie ont cru de 0,54% par an, les surfaces irriguées de 1,83% par an (soit plus qu'un doublement entre 1961 et 2000) et les pâtures de 0,79% par an. En parallèle, l'espace forestier s'est réduit de 0,15% par an.

Dans la région Asie, le potentiel cultivable pour un rendement supérieur à 60% du rendement maximal (VS+S) en agriculture pluviale et irriguée est de 407 millions d'hectares selon le rapport GAEZ [Fischer et al. 2000, 2001, 2002] (cf. figure 34). Cette surface a été dépassée au cours de l'année 1985 et la surface cultivée atteint aujourd'hui environ 450 millions d'hectares, ce qui signifie que les agriculteurs asiatiques mettent déjà en valeur des terres au potentiel de rendement inférieur à 60% du rendement maximum. D'après la FAO, le total des terres aptes à l'agriculture en Asie se situerait plutôt autour de 586 millions d'hectares, et serait déjà exploité à 63% en Asie de l'Est et à 94% en Asie du Sud [FAO, 2002].

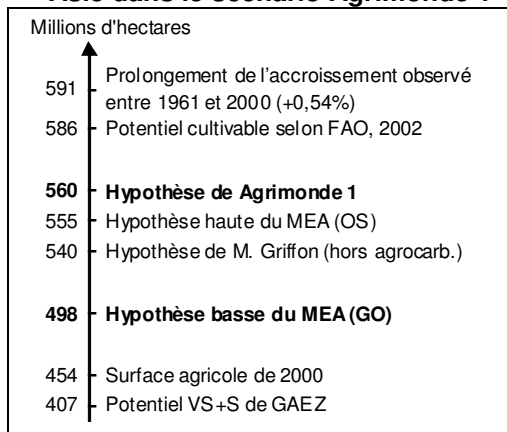
La plupart des perspectives sur les surfaces cultivées en Asie tiennent compte de la saturation du potentiel cultivable dans cette région.

Dans le scénario Agrimonde 1, l'hypothèse de surface cultivée correspond à 560 millions d'hectares cultivés et plantés en 2050 (soit un taux d'accroissement annuel de

0,42% entre 2000 et 2050), soit le même ordre de grandeur que l'hypothèse haute des scénarios du MEA, observée dans *Order From Strength* et que celle du scénario de Michel Griffon (surfaces en agro-carburants déduites) (cf. figure 35 et graphique 9). Le groupe de travail a en outre fait l'hypothèse que les nouvelles terres seront prises à parts égales sur les pâtures et sur les forêts. Ceci implique un renversement de la tendance actuelle à l'accroissement des terres pâturées (- 0,20% par an entre 2000 et 2050) et une très légère hausse du taux de déforestation annuel (0,22% par an) par rapport à celui observé entre 1961 et 2000 (0,15% par an).

Les projets de développement de l'irrigation dans cette région et notamment en Chine passent par le développement des barrages qui sont controversés quant à leurs effets environnementaux et sociaux. Le scénario Agrimonde 1 n'a donc retenu qu'une faible progression des surfaces irriguées (+ 0,11% entre 2000 et 2050 contre + 1,83% entre 1961 et 2000) pour atteindre 163 millions d'hectares irrigués en 2050 (compris dans les 540 millions d'hectares cultivés).

Figure 35 :
Repères pour la quantification des surfaces cultivées et plantées en 2050 en Asie dans le scénario Agrimonde 1



Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Fischer et al. (2000), (2001), (2002), FAO (2002) et Griffon (2006)

Cette hypothèse peut paraître faible au regard des projections de la FAO (+ 0,33% par an jusqu'à 2030) qui considèrent que l'Asie de l'Est exploitera les trois quart de sa superficie irrigable en 2030, et l'Asie du Sud presque 90% [FAO, 2002]. Elle reste également en-deçà de l'ordre de grandeur retenu (+ 0,14% par an pour les surfaces céréalières jusqu'en 2025) dans le scénario de l'IFPRI-IWMI⁸⁰ à 2025 « Gestion durable des ressources en eau » qui s'inscrit dans une logique de développement durable [Rosegrant et al., 2002]. Cette hypothèse consiste en particulier à considérer que les ressources en eau disponibles constitueront un facteur limitant au développement futur de l'irrigation. Elle se situe dans le haut de la fourchette envisagée dans les scénarios du MEA (accroissement compris entre + 0,03% dans *Global Orchestration* et + 0,15% dans *Order from Strength*) (cf. graphique 10).

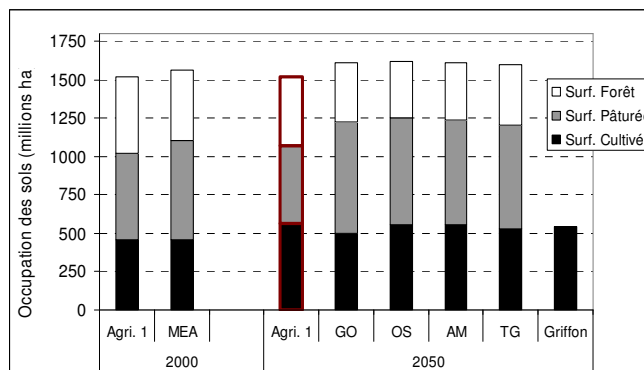
Enfin, on suppose dans le scénario Agrimonde 1 que la pression très importante sur les terres à vocation alimentaire limitera le développement des agro-carburants⁸¹. Le groupe de travail a alors retenu pour ces surfaces dédiées aux agro-carburants l'ordre de grandeur de *TechnoGarden*⁸² (cf. graphique 10). En effet, l'hypothèse de surface dédiée aux agro-carburants dans ce scénario n'est pas la plus haute des quatre scénarios du MEA, mais correspond à une situation où les politiques visent à limiter le changement climatique par la production d'énergie à partir de biomasse. Dans le scénario Agrimonde 1, 20 millions d'hectares d'agro-carburants représentent moins de 4% des terres cultivées. La production d'agro-carburants terrestres se fera notamment par des plantations de palmiers à huile en Asie du Sud-Est et en Indonésie. Cependant, la principale source d'agro-carburants en Asie en 2050 pourrait être fournie par des algues, sur des surfaces aquatiques marines. Cette hypothèse confirmerait alors l'importance qu'a pris la culture d'algues ces dernières

⁸⁰ Dans son étude « *World Water and Food to 2025: Dealing with scarcity* », l'IFPRI-IWMI envisage trois scénarios au taux d'accroissement annuel des surfaces irriguées en céréales variant en Asie de + 0,03 % dans le scénario (CRI) « Crise mondiale de l'eau », + 0,23 % dans le scénario (SUS) « Gestion durable des ressources en eau », à 0,32 % dans le scénario (BAU) « Maintien des orientations actuelles » [Rosegrant et al., 2002].

⁸¹ Cette hypothèse est également défendue par Johnson et al. [Johnson et al., 2008].

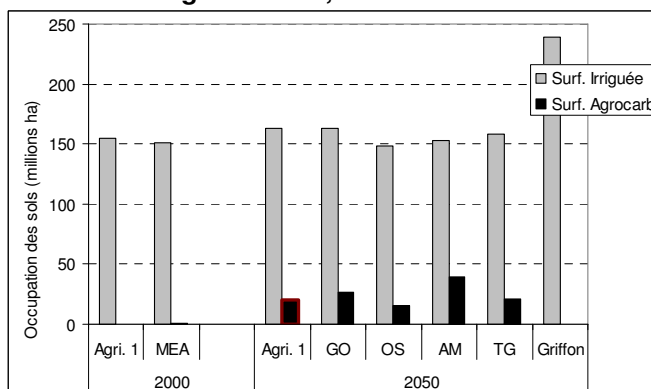
⁸² Outre les surfaces en agro-carburants, le MEA inclut dans ce chiffre les surfaces dédiées à la filière « bois énergie ».

Graphique 9 :
Asie : Occupation des sols en 2000 et 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon



Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

Graphique 10 :
Asie : Surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agro-carburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon



Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

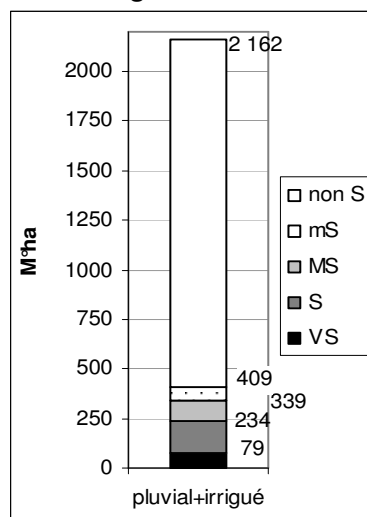
années : entre 1996 et 2006, la production d'algues rouges cultivées a presque doublé (FAOSTAT, 2008), et 95% de celles-ci sont produites en Asie [Kaas, 2006].

Fortement consommateur d'espace, le choix de ce jeu d'hypothèses de surfaces cultivées, irriguées, prairiales et forestières, est largement motivé par l'idée que la population active agricole en croissance dans cette région cherchera à repousser les frontières de l'espace agricole pour pérenniser son activité⁸³. Il pourrait se traduire dans la réalité par une avancée significative des fronts pionniers indonésiens et de Chine du Nord [Griffon, 2006] et par le déplacement des zones de production vers le Nord où le climat pourrait être rendu plus favorable à l'agriculture contrairement à l'Asie du Sud⁸⁴ [FRS, 2007].

Pour que cette hypothèse de croissance des surfaces cultivées soit possible, et pour qu'elle soit compatible avec des objectifs de durabilité, elle va de pair avec un certain nombre de changements de pratiques majeurs qui sont précisés dans le chapitre II.4.

Quelle occupation des sols cultivées en Ex-URSS en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 ?

**Figure 36 :
Potentiels cultivables de la
région Ex-URSS**



Source : cf. I.2 Agribiom et annexe 6

D'après la FAO, entre 1961 et 2000, les surfaces cultivées en Ex-URSS ont décliné de 0,43 % par an, les surfaces irriguées ont augmenté de 2,08% par an (soit plus qu'un doublement entre 1961 et 2000) et les pâtures de 0,85% par an. En parallèle, l'espace forestier s'est réduit de 1,01% par an. Cependant les séries passées sont très chaotiques et leur fiabilité peut être mise en question.

En 2000, toutes les terres d'Ex-URSS dont le potentiel de rendement est supérieur à 80% du rendement maximal (VS) en agriculture pluviale et irriguée étaient déjà cultivées. On comptait 203 millions d'hectares en culture, c'est-à-dire qu'il ne restait plus, de disponible, que 13% des terres dont le potentiel de rendement est supérieur à 60% du rendement maximal (VS+ S), ou 40% des terres dont le potentiel de rendement est supérieur à 40% [Fischer et al. 2000, 2001, 2002] (cf. figure 36). *A priori*, cette région pourrait encore étendre ses surfaces cultivées mais de façon modérée seulement. Cependant, les effets du changement climatique pourraient libérer de nouvelles réserves de terres agricoles à l'avenir (cf. encadré 4).

Encadré 4 : Changement Climatique et potentiel cultivable en Ex-URSS

Dans les régions situées au Nord du 60ème parallèle, le dégel du pergélisol conjugué à l'accroissement de la pluviosité, consécutifs à l'élévation des températures et au ralentissement de la circulation thermoalynne, libèreraient des surfaces de plaine immenses. La zone limite sud du pergélisol d'Asie boréale pourrait être translatée de 300-400 km vers le Nord d'ici 2100⁸⁵ [Roy, 2007]. Les terres arables de la région de l'Ex-URSS pourraient passer de 216 à 314 millions d'hectares selon la base de données TERRASTAT de la FAO (division AGL)⁸⁶. Le potentiel cultivable de la Russie à l'horizon 2080 serait estimé à 64% d'augmentation, soit 216 millions d'ha. [Romanenkov et al. 2003].

⁸³ La surface cultivée par habitant serait alors réduite à 0,23 ha contre 0,31 ha en 2000 et 0,51 ha en 1961.

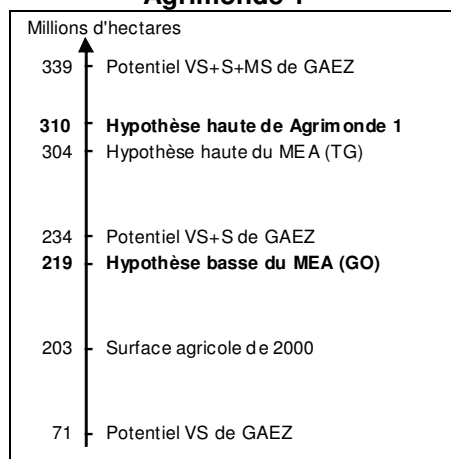
⁸⁴ Le GIEC ne chiffre pas les changements de température et de pluviométrie à 2050. En revanche, les élévations de températures pourraient atteindre jusqu'à + 5°C et la pluviométrie augmenter entre 5 et 10% en Asie du Nord d'ici 2100. [IPCC, 2007b].

⁸⁵ Une cartographie des pergélisols actuels est disponible dans l'ouvrage : Petit-Maire et al.. (1999). *Carte des environnements du monde pendant les deux derniers extrêmes climatiques*.

⁸⁶ « La Russie (...) pourrait potentiellement passer de 132 millions d'hectares de terres arables (soient les 47% du potentiel cultivable de la Russie qui seraient actuellement utilisés) à 282 millions d'hectares, soit 2,14 fois la surface actuelle » [Roy, 2007].

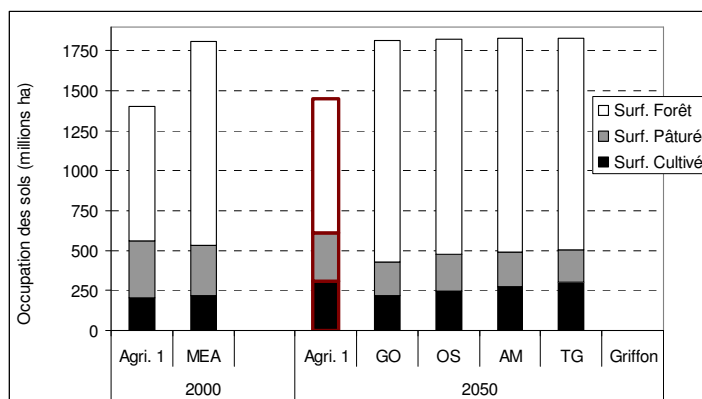
Dans le scénario Agrimonde 1, l'hypothèse de surface cultivée est de 310 millions d'hectares, dont 10 millions sont consacrés aux agro-carburants. Cette surface correspond au même ordre de grandeur que la borne haute retenue dans les scénarios du MEA (304 millions d'hectares dans *TechnoGarden*) mais reste inférieure aux 339 millions d'hectares recensés dans le rapport GAEZ comme cultivables à un niveau de rendement supérieur à 40% du rendement maximal, effets du réchauffement climatique non intégrés (cf. figure 37 et graphique 11). Même si le potentiel cultivable permet une telle augmentation des surfaces cultivées, la moitié sera prise sur les terres dégagées par la fonte du pergélisol, l'autre moitié sur les pâtures. Les forêts seront ainsi préservées. Ceci implique une stagnation des surfaces en forêts alors qu'elles sont en progression dans cette région dans tous les scénarios du MEA. Les terres pâturées se réduiront de 0,36 % par an entre 2000 et 2050, soit deux fois moins vite que dans les scénarios du MEA, mettant fin à la tendance de progression des espaces pâturés observée entre 1961 et 2000 (0,85% par an). Au bilan, la mise en culture se fera essentiellement sur des espaces prairiaux du Sud de l'Ex Union soviétique, et repoussera les pâtures vers le Nord, au gré de la fonte du pergélisol.

Figure 37 :
Repères pour la quantification des surfaces cultivées et plantées en 2050 en Ex-URSS dans le scénario Agrimonde 1⁸⁷



Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Fischer et al. (2000), (2001), (2002), FAO (2002) et Griffon (2006)

Graphique 11 :
Ex-URSS : occupation des sols en 2000 et 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon



Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces irriguées sont maintenues à leur niveau de 2000, compte tenu de la rareté de la ressource en eau dans cette région, et en particulier en Asie Centrale. C'est aussi l'hypothèse des scénarios du MEA qui envisagent au plus une augmentation des périmètres irrigués de 1,5 millions d'hectares, et au moins, une réduction de 2,3 millions d'hectares [Carpenter et al., 2005]⁸⁸. Enfin, les scénarios du MEA misent tous sur un développement des cultures énergétiques pouvant se traduire par la mise en culture de 13 à 90 millions d'hectares de surfaces dédiées⁸⁹ [Carpenter et al., 2005] (cf. graphique 12). Dans le scénario Agrimonde 1, les agro-carburants se développent dans cette région, mais davantage sous forme forestière. Les surfaces agricoles consacrées s'élèvent à 10 millions d'hectares en 2050, soit l'ordre de grandeur retenu dans le scénario *Order from Strength*.

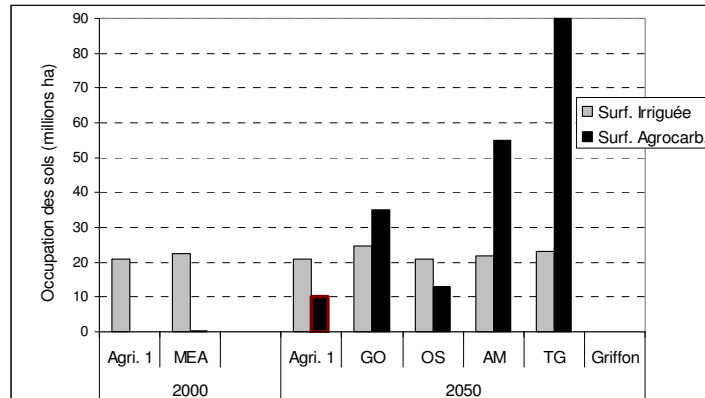
⁸⁷ Dans les travaux de la FAO ainsi que dans l'ouvrage de Michel Griffon, les chiffrages relatifs à la région Ex-URSS sont inclus dans un découpage plus large « Pays industrialisés ». C'est pourquoi ces deux sources n'ont pas été retenues parmi les points de repères utilisés durant la formulation des hypothèses quantitatives pour la région Ex-URSS dans le scénario Agrimonde 1.

⁸⁸ Dans les scénarios de l'IFPRI-IWMI, les chiffrages relatifs aux surfaces céréalières irriguées en Ex-URSS sont inclus dans un découpage plus large « Pays développés ». C'est pourquoi il n'a pas été fait référence durant la formulation des hypothèses quantitatives pour le scénario Agrimonde 1.

⁸⁹ Outre les surfaces en agro-carburants, le MEA inclut dans ce chiffrage les surfaces dédiées à la filière « bois énergie ».

En somme, dans le scénario Agrimonde 1, plus de 100 millions d'hectares supplémentaires seront mis en culture en Ex-URSS d'ici à 2050. Une telle croissance des surfaces cultivées pose la question de leur mode de mise en valeur. Cette question sera discutée au chapitre II.4.

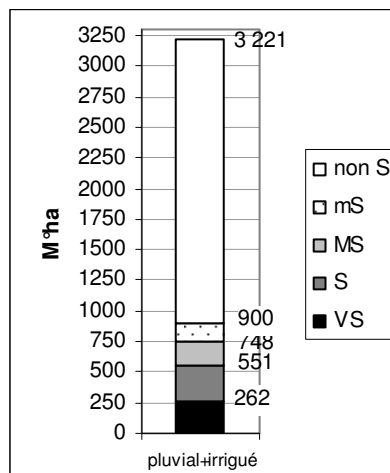
Graphique 12 :
Ex-URSS : Surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agro-carburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon



Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

Quelle occupation des sols dans la région OCDE-1990 en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 ?

Figure 38 :
Potentiels cultivables de la région OCDE-1990



Source : cf. I.2 Agribiom et annexe 6

D'après la FAO, entre 1961 et 2000, les surfaces cultivées de la région OCDE-1990 ont régressé de 0,05% par an, les pâtures de 0,21% par an, et les forêts de 0,23% par an. Seules les surfaces irriguées ont cru, de 1,40% par an.

En 2000, toutes les terres de la région OCDE-1990 dont le potentiel de rendement est supérieur à 80% du rendement maximal (VS) en agriculture pluviale et irriguée étaient déjà cultivées. On comptait 418 millions d'hectares en culture, c'est-à-dire que 24% des terres dont le potentiel de rendement est supérieur à 60% du rendement maximal (VS+S) restaient disponibles, ou 44% des terres dont le potentiel de rendement est supérieur à 40% [Fischer et al. 2000, 2001, 2002] (cf. figure 38). *A priori*, cette région conserve des réserves de terres cultivables. Celles-ci pourraient se voir augmentées à l'avenir sous l'effet de la fonte du pergélisol au Nord du Canada induit par le réchauffement climatique.

Dans le scénario Agrimonde 1, l'hypothèse de surface cultivée est de 495 millions d'hectares en 2050, dont 95 millions sont consacrés aux agro-carburants. Cette hypothèse de surfaces cultivées se situe dans la borne basse des

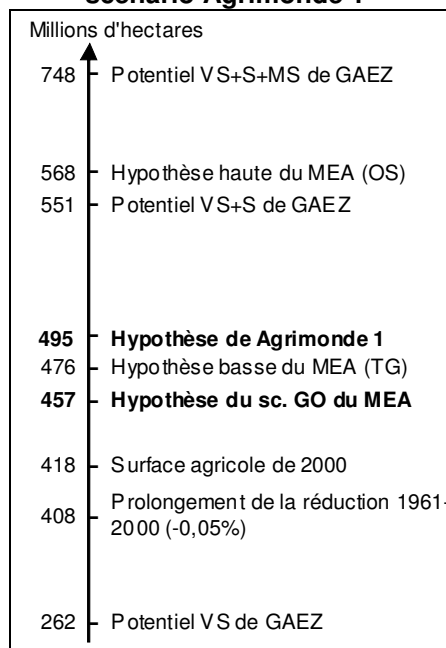
surfaces envisagées dans les scénarios du MEA (476 millions d'hectares dans *TechnoGarden* [Carpenter et al., 2005]) (cf. figure 39 et graphique 13) et correspond à la mise en culture de 90 % des terres recensées dans le rapport GAEZ [Fischer et al. 2000, 2001, 2002] comme cultivables à un niveau de rendement supérieur à 60% du rendement maximal, effets du réchauffement climatique non intégrés.

Il faut préciser que cet accroissement des surfaces cultivées est uniquement dû au développement des cultures énergétiques, cachant même une régression très nette des surfaces agricoles alimentaires (- 18 millions d'hectares). Parallèlement, la tendance au reboisement des paysages observée dans la région OCDE-1990 depuis 1990 (voir section II.2.2) se poursuit dans le scénario Agrimonde 1 et s'accroît même encore. Alors que les surfaces forestières ont progressé de 0,11% par an entre 1990 et 2003, elles croissent encore de 0,19% par an entre 2000 et 2050 dans le scénario Agrimonde 1. Les pâtures sont la variable d'ajustement, régressant de 176 millions d'hectares au profit des surfaces énergétiques et forestières. Conjointement à leur recul global dans

la région, un avancement plus local des zones en pâture au Nord du Canada, au gré de la fonte du pergélisol n'est pas pour autant exclu.

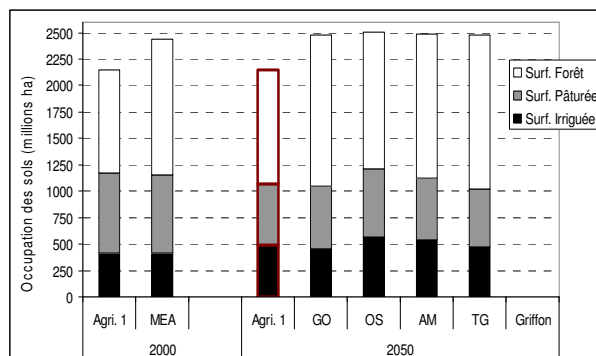
Dans Agrimonde 1 pour cette région, l'extension des surfaces cultivées se fait sans progression significative des surfaces irriguées, ce qui est également le cas dans les scénarios du MEA⁹¹ (cf. graphique 14). Le développement important des surfaces dédiées aux agro-carburants est à la hauteur de celui envisagé dans *Adapting Mosaic*⁹², le scénario qui laisse le plus de place aux surfaces énergétiques (95 millions d'hectares contre 62 dans *TechnoGarden*, l'hypothèse la plus basse du MEA [Carpenter et al., 2005]).

Figure 39 :
Repères pour la quantification des surfaces cultivées et plantées en 2050 dans la région OCDE-1990 dans le scénario Agrimonde 1⁹⁰



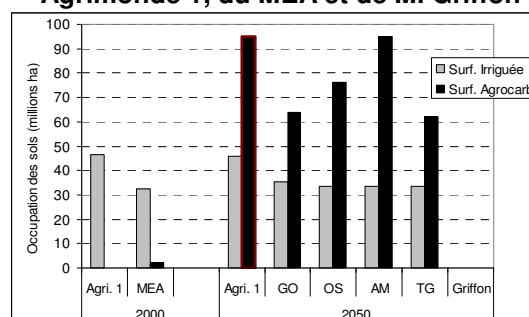
Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Fischer et al. (2000), (2001), (2002), FAO (2002) et Griffon (2006)

Graphique 13 :
OCDE-1990 : Occupation des sols en 2000 et 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon



Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

Graphique 14 :
OCDE-1990 : Surfaces irriguées et surfaces dédiées aux agro-carburants en 2000 et en 2050 dans les scénarios Agrimonde 1, du MEA et de M. Griffon



Sources : Carpenter et al. (2005) et Griffon (2006)

⁹⁰ Dans les travaux de la FAO ainsi que dans l'ouvrage de Michel Griffon, les chiffres relatifs à la région OCDE-1990 sont inclus dans un découpage plus large « Pays industrialisés ». C'est pourquoi ces deux sources n'ont pas été retenues parmi les points de repères utilisés durant la formulation des hypothèses quantitatives pour le scénario Agrimonde 1 dans la région OCDE-1990.

⁹¹ Dans les scénarios de l'IFPRI-IWMI, les chiffres relatifs aux surfaces céréalières irriguées de la région OCDE-1990 sont inclus dans un découpage plus large « Pays développés ». C'est pourquoi il n'a pas été fait référence durant la formulation des hypothèses quantitatives pour le scénario Agrimonde 1 dans la région OCDE-1990.

⁹² Outre les surfaces en agro-carburants, le MEA inclut dans ce chiffre les surfaces dédiées à la filière « bois énergie ».

Quelle occupation des sols dans le monde en 2050 dans le scénario Agrimonde 1 ?

D'après la FAO, dans le monde, les surfaces cultivées (cultures arables et permanentes) sont estimées au début du XXI^{ème} siècle à 1,5 milliards d'hectares, soit environ 11 % de la superficie en terres de la planète. Ce chiffre est supérieur de 12% à celui enregistré en 1961, ce qui représente une augmentation annuelle moyenne de près de 3,9 millions d'hectares pendant ces 40 dernières années.

Cette hausse passée des surfaces cultivées se répartit différemment selon les régions (cf. tableau 12). Ainsi, l'Afrique subsaharienne et l'Amérique latine sont les zones où les nouvelles surfaces cultivées ont été les plus importantes, avec des augmentations respectives de 33% et de 59%. Les forêts semblent avoir été la variable d'ajustement sur le continent africain, tandis qu'elles n'expliquent pas toute l'évolution en Amérique du Sud. Le potentiel cultivable, encore important dans ces zones, permet de comprendre, pour partie, l'extension importante des terres cultivées qu'ont connu ces deux régions. L'Asie et l'Afrique du Nord – Moyen Orient ont vu leur surface cultivée augmenter modérément (23% et 14%). Ces faibles évolutions s'expliquent par une extension des superficies qui se rapproche fortement de la limite des potentiels cultivables. Seules l'ancienne Union Soviétique et la région OCDE-1990 peuvent faire état de surfaces cultivées en baisse. Dans ces régions, les potentiels cultivables ne sont pas encore atteints et la diminution des surfaces cultivées est associée à des phénomènes différents : activité économique au ralenti en ancienne Union Soviétique et expansion de la forêt et de l'urbanisation en OCDE-1990.

Les surfaces irriguées, qui sont incluses dans les chiffres mentionnés ci-dessus, n'ont pas suivi la même évolution. Elles ont augmenté dans toutes les régions d'environ 100% et représentent aujourd'hui 18% des surfaces cultivées mondiales. Cette forte hausse au cours des 40 dernières années pose la question de la poursuite d'une telle évolution, conditionnée par les ressources en eau, notamment dans les régions où les surfaces irriguées représentent déjà une proportion importante des terres cultivées : Asie (34%) et Afrique du Nord - Moyen Orient (26%).

L'évolution des pâtures depuis 1961 permet de distinguer deux groupes de régions : celui où la pâture augmente fortement et celui où elle stagne voire même diminue. Dans le premier groupe se trouvent l'Amérique latine (+20%), l'Asie (+36%), l'ancienne Union Soviétique (+19%) et l'Afrique du Nord - Moyen Orient (+39%). Dans le second groupe, se trouvent l'Afrique subsaharienne (stagnation) et l'OCDE-1990 où elle diminue fortement, pour laisser place aux forêts et à l'urbanisation.

Entre 2000 et 2050, les surfaces cultivées mondiales auront progressé de 39% dans le scénario Agrimonde 1 et atteindront 2,1 milliard d'hectares en 2050, soit 15% des surfaces en terre de la planète. Avec une moyenne de 12 millions d'hectares nouvellement cultivés par an, le rythme de mise en culture aura triplé entre 2000 et 2050 par rapport à celui observé entre 1961 et 2000.

La conquête de nouveaux espaces cultivés aura essentiellement concerné l'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne qui auront converti 148 et 147 millions d'hectares respectivement, suivies par l'ancienne Union soviétique et l'Asie qui auront converti 107 et 105 millions d'hectares respectivement. La participation de la région OCDE-1990 à ce phénomène aura été plus limitée (77 millions d'hectares mis en culture) tandis que la surface cultivée de l'Afrique du Nord – Moyen Orient aura stagné.

Dans le scénario Agrimonde 1, la préservation de la forêt est un objectif fort. Les pâtures seront donc devenues la variable d'ajustement. Elles auront perdu 494 millions d'hectares (soit 15% de leur superficie) alors que les forêts n'auront régressé que de 47 millions d'hectares (soit 1,2% de leur superficie). La perte de pâture aura été particulièrement notable dans la région OCDE-1990 (-176 millions d'hectares) où elles auront régressé d'un quart au profit des cultures énergétiques ainsi qu'en Amérique latine et en Afrique subsaharienne (-110 et -90 millions d'hectares respectivement). Parallèlement, les efforts de conservation de la forêt auront été efficaces en Afrique du Nord – Moyen Orient et en ancienne Union soviétique qui auront réussi à conserver la totalité de leurs espaces forestiers, la première région par volonté de préserver ses ressources hydriques et la deuxième parce qu'elle aura su orienter l'extension de ses terres productives vers les terres dégelées du pergélisol. Dans la région OCDE-1990, le phénomène de reforestation observé entre 1990 et 2003 se sera accentuée jusqu'en 2050. C'est donc dans les trois régions restantes, Afrique subsaharienne, Amérique latine et Asie, que se concentre la perte de forêts. Elles auront perdu respectivement 9%, 4% et 10% de leur surface forestière de 2000. Le taux annuel de déforestation

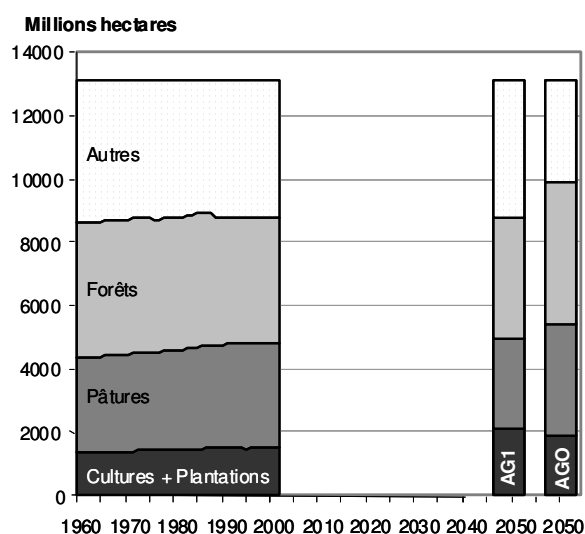
aura légèrement augmenté en Asie, passant de 0,15% par an à 0,22% par an entre 2000 et 2050 ; il aura en revanche bien ralenti dans les deux autres régions (passant de 0,24% par an à 0,08% par an entre 2000 et 2050 en Amérique latine et de 0,27% par an à 0,19% par an entre 2000 et 2050 en Afrique subsaharienne).

Les périmètres irrigués auront été maintenus dans toutes les régions sauf en Afrique subsaharienne où ils auront doublé (+7 millions d'hectares) et en Asie où ils auront gagné 6% (+9 millions d'hectares).

En résumé, en 2050 dans le scénario Agrimonde 1, l'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne seront loin d'avoir exploité tout leur potentiel cultivable et pourront se permettre de n'exploiter que des terres à haut potentiel de rendement (leur surface cultivée n'atteint que 90% et 80%, respectivement, des terres au potentiel de rendement supérieur à 80% du rendement maximal). La région OCDE-1990 cultivera 89% de la surface au potentiel de rendement supérieur à 60% du rendement maximal et l'ancienne Union soviétique 75% de la surface au potentiel de rendement supérieur à 40% du rendement maximal. En revanche, l'Asie et l'Afrique du Nord - Moyen Orient seront contraintes de cultiver des terres marginales, soit au minimum respectivement 34 et 4 millions d'hectares au potentiel de rendement inférieur à 20% du rendement maximal.

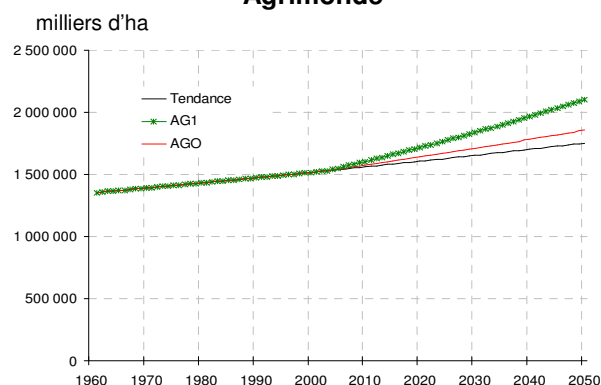
Récapitulatif des hypothèses d'occupation des sols dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO

Graphique 15 : Evolution de l'occupation des sols dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO



Sources : d'après Dorin et Le Cotty (cf. chapitre I.2 Agribiom)

Figure 40 : Projections des surfaces cultivées entre 1961 et 2050 dans les scénarios Agrimonde



- (1) tendance : taux de croissance annuel entre surface 1961 et 2003 projeté jusqu'en 2050.
- (2) AG1 : taux de croissance annuel constant entre surface 2003 et surface 2050 AG1.
- (3) AGO : taux de croissance annuel constant entre surface 2003 et surface 2050 AGO.

Source : d'après Dorin et Le Cotty (cf. chapitre I.2 Agribiom)

Tableau 12 : Variation et taux de variation des surfaces dans Agrimonde 1 et Agrimonde GO

		1961-2000		2000-2050			
		Variation de surface (millions ha)	Taux de variation	Variation de surface (millions ha)	Taux de variation	Variation de surface (millions ha)	Taux de variation
Région	Type d'usage	Agrimonde 1		Agrimonde 1		Agrimonde GO*	
MONDE	Culture + Plantation	159	+ 12%	591	+ 39%	314	+ 20%
	dont irriguée	134	+ 99%	18	+ 7%	23	+ 10%
	dont agrocarb.	0	0%	224	-	213	-
	Pâture	341	+ 11%	- 494	- 15%	67	+ 2%
	Forêt	- 370	- 9%	- 47	- 1%	- 64	- 1%
Afrique du Nord – Moyen Orient	Culture + Plantation	10	+ 14%	7	+ 9%	- 1	- 1%
	dont irriguée	11	+ 98%	- 0	0%	1	+ 7%
	dont agrocarb.	0	-	0	-	0	-
	Pâture	92	+ 39%	- 6	- 2%	34	+ 12%
	Forêt	- 16	- 33%	0	0%	- 9	- 50%
Afrique sub-saharienne	Culture + Plantation	48	+ 33%	147	+ 76%	115	+ 61%
	dont irriguée	3	+ 100%	7	+ 105%	2	+ 17%
	dont agrocarb.	0	-	39	-	40	-
	Pâture	15	+ 2%	- 90	- 12%	244	+ 27%
	Forêt	- 70	-10%	- 57	- 9%	- 225	- 45%
Amérique latine	Culture + Plantation	60	+ 59%	148	+ 91%	95	+ 56%
	dont irriguée	10	+ 125%	2	+ 11%	3	+ 33%
	dont agrocarb.	0	-	60	-	46	-
	Pâture	93	+ 20%	- 110	- 20%	- 56	- 9%
	Forêt	- 93	- 9%	- 37	-4%	- 8	- 1%
Asie	Culture + Plantation	86	+ 23%	105	+ 23%	48	+ 11%
	dont irriguée	78	+ 103%	9	+ 6%	12	+ 8%
	dont agrocarb.	0	-	20	-	27	-
	Pâture	149	+ 36%	- 53	- 9%	90	+ 14%
	Forêt	- 29	- 6%	- 52	- 10%	- 74	- 16%
Ex-URSS	Culture + Plantation	- 37	- 15%	107	+ 53%	6,7	+ 3%
	dont irriguée	12	+ 123%	0	0%	2	+ 9%
	dont agrocarb.	0	-	10	-	35	-
	Pâture	57	+19%	- 59	- 16%	- 108	- 34%
	Forêt	- 70	- 8%	0	0%	119	+ 9%
OCDE-1990	Culture + Plantation	- 8	- 2%	77	+ 18%	50	+ 12%
	dont irriguée	20	+ 72%	- 1	- 1%	3	+ 10%
	dont agrocarb.	0	-	95	-	64	-
	Pâture	- 65	- 8%	- 176	- 23%	- 137	- 19%
	Forêt	- 92	- 9%	99	+ 10%	133	+ 10%

* La définition des usages de sols dans le référentiel MEA n'est pas la même que celle utilisée dans le référentiel Agrimonde. C'est pourquoi cette colonne peut annoncer des taux de variations identiques au scénario Agrimonde 1 pour des variations de surface en valeur brute différentes.

Source : d'après Dorin (cf. chapitre I.2 Agribiom)

II.2.2.2 Quels rendements des cultures alimentaires en 2050 ?

Les principes retenus pour construire les hypothèses de rendement des cultures alimentaires

Comme dans la construction des hypothèses de surfaces, l'approche retenue dans la formulation des hypothèses de rendements du scénario Agrimonde 1 diffère sensiblement de celle du MEA. Dans Agrimonde 1, on ne cherche pas *a priori* à équilibrer les ressources et emplois de biomasse, alors que dans le MEA, les rendements sont calculés par le modèle IMPACT. Au sein de ce modèle, ils sont fonction : des prix mondiaux des « commodités », des prix du travail et du capital ainsi que des améliorations technologiques (elles-mêmes déterminées notamment par la R&D publique et privée, la formation des agriculteurs, le développement des infrastructures et des marchés ainsi que la capacité d'irrigation). Les deux déterminants majeurs de la tendance technologique sont les investissements en agriculture et l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie (cf. figure 13).

Le scénario Agrimonde GO reproduit les gains de rendement du scénario *Global Orchestration* du MEA. Il faut cependant souligner que les seules hypothèses de rendements disponibles dans le MEA sont celles relatives aux céréales, distinguées par régions. Le groupe de travail a alors appliqué le même taux de croissance des rendements à la variable « rendements toutes productions confondues » même s'il est bien conscient que ces hypothèses deviennent alors très optimistes pour toutes les régions du monde et, en l'occurrence, bien plus élevées que celles retenues dans le scénario Agrimonde 1 (cf. tableau 13).

Concernant le scénario Agrimonde 1, dans le cadre d'un exercice de prospective destiné à alimenter les réflexions sur les orientations de recherche à long terme, le groupe de travail a choisi, plutôt que de faire une hypothèse unique en fixant un niveau de rendement pour chaque région, de proposer une fourchette de rendements, pour tester les marges de manœuvre du système associées aux rendements. Ainsi, si l'hypothèse basse ne permet pas d'avoir un niveau de ressources supérieur ou égal au niveau d'emplois au niveau mondial, il est possible de tester la capacité de couverture des besoins permise par l'hypothèse haute et d'en tirer des enseignements en termes d'ampleur du défi adressé à la recherche et à l'innovation.

Pour construire les hypothèses sur les rendements, le groupe de travail a procédé en trois étapes :

- 1- L'observation des tendances passées et l'identification de ruptures possibles : l'analyse des courbes régionales de productivité par hectare (présentées dans la section I.2.2.4) a permis d'apprécier, dans une certaine mesure, la capacité de chaque région à maintenir, poursuivre ou accélérer son rythme de gain de rendement. Deux critères ont particulièrement guidé cette analyse, et permis d'identifier les ruptures possibles du scénario. Le premier est la forme de la courbe, qui traduit le fait que la région considérée connaît une phase de progrès techniques si la courbe continue à monter, ou de stagnation si la courbe plafonne. Le second était le niveau de rendements atteints en 2000 qui pouvait suggérer que les possibilités de gains de rendements n'avaient pas encore été pleinement activées lorsque le niveau de rendement de 2000 était particulièrement bas.
- 2- La mise en cohérence de la fourchette de rendements retenus avec les hypothèses de surfaces du scénario Agrimonde 1, et particulièrement avec le potentiel de rendements des terres cultivées de la région considérée et avec les impacts attendus du réchauffement climatique sur les cultures dans chaque grand écosystème de cette même région.
- 3- La comparaison avec les exercices de prospective agricole existants : le groupe de travail a ajusté les tendances qu'il avait retenues en se référant aux rendements céréaliers des scénarios du MEA, des hypothèses d'IAASTD et du scénario de M. Griffon à 2050⁹³. Il a également comparé les taux d'accroissement annuels retenus avec ceux des scénarios de l'IFPRI et de l'IMWI à 2020 et 2025.

⁹³ Rappelons que le MEA présente des évolutions de rendements céréaliers alors que l'on travaillera sur des rendements toutes cultures confondues dans les scénarios Agrimonde, exprimés en Kcal/ha/j.

Figure 41 : Les hypothèses de rendements des cultures alimentaires dans les scénarios du Millennium Ecosystem Assessment

Mondialisation	
Global Orchestration	TechnoGarden
<p>Ce scénario est caractérisé par une forte augmentation des rendements, dans les pays développés comme dans les pays en développement du fait de forts investissements dans la recherche agricole, de la forte augmentation des surfaces irriguées, des améliorations dans l'efficacité de l'utilisation de l'eau et dans l'utilisation d'énergie ainsi que des investissements dans les infrastructures de soutien. Les techniques développées sont principalement les OGM, des pratiques de cultures plus intensives et un accroissement de l'utilisation des engrais. Toutes les exploitations agricoles, petites comme grandes, deviennent hautement mécanisées et industrielles. Les exploitants pratiquant une agriculture peu intensive, par choix de vie ou sur des terres marginales, ont un faible poids dans la production alimentaire et dans l'économie des pays. Le savoir local est souvent remplacé par des méthodes industrielles uniformes.</p> <p>Réactivité</p>	<p>Les augmentations de rendements sont plus faibles dans les pays riches, suite à l'expansion de l'agriculture biologique, que dans les pays en développement. Cependant, les investissements en biotechnologies et dans d'autres innovations liées aux cultures sont suffisantes pour entraîner un accroissement significatif des rendements. De même, les améliorations dans les productions animales (poids des animaux) sont faibles dans les pays riches, notamment car des progrès importants ont déjà été réalisés et car la demande en produits animaux diminue mais les innovations en reproduction animale permettent aux pays pauvres d'améliorer sensiblement le poids moyen des animaux.</p> <p>Proactivité</p>
Order from Strength	Adapting Mosaic
<p>Les améliorations des rendements ont été très faibles dans tous les pays, les investissements dans l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'énergie en agriculture ayant été insuffisants, tout comme ceux concernant les infrastructures. Les augmentations de rendements sont surtout obtenues par une intensification et une utilisation croissante d'engrais. Les plus faibles augmentations ont lieu en OCDE-1990 et en Ex-URSS alors que les pays en développement connaissent des progressions plus fortes. Le recours aux droits de douane dans les pays riches comme dans les pays pauvres a pour conséquence de renchérir le coût des technologies agricoles, de sorte que les agriculteurs pauvres ne peuvent acquérir les techniques permettant de maintenir la fertilité des sols et les autres fonctions écosystémiques. Sans ces techniques, la production agricole prend du retard dans les pays pauvres et devient plus vulnérable aux risques naturels (maladies, ravageurs...). Afin de maintenir leur revenu, les agriculteurs agrandissent leurs surfaces cultivées notamment sur des terres marginales.</p>	<p>Les rendements augmentent à un rythme moyen au cours des premières années puis le rythme se ralentit dans les pays riches à cause de l'adoption à grande échelle de l'agriculture biologique. Les augmentations de rendements sont plus importantes dans les pays en développement grâce aux mécanismes réussis d'adaptations. Les pays pauvres suivent le mouvement, initié en Europe et aux Etats-Unis, d'une production agricole respectueuse de l'environnement, commercialisant des produits sains. En 2030 les produits biologiques et les denrées « produites naturellement » représentent 34% du marché en Europe et 21% aux Etats-Unis. Les technologies environnementales sont développées sur la base des conditions et des besoins locaux, mènent à une amélioration graduelle de la gestion des systèmes socioécologiques et des ressources naturelles. La diversification des talents et des expertises se poursuit grâce à une implication plus importante des pays pauvres. Ainsi, le rythme de progrès technologiques pour utiliser de façon plus efficace et raisonnable les ressources et réduire la pollution environnementale augmente.</p>
Régionalisation	

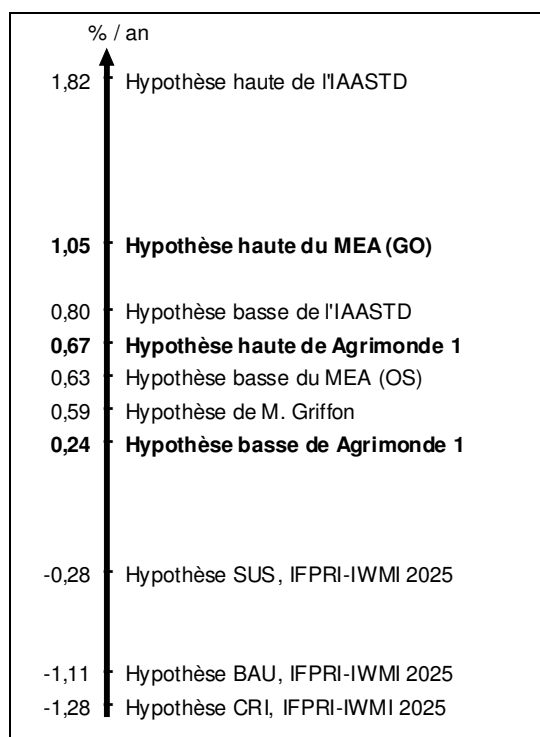
Source : d'après Carpenter et al. (2005)

Quels rendements des cultures alimentaires en Afrique du Nord – Moyen Orient en 2050 ?

Entre 1961 et 2000, les rendements des cultures alimentaires ont connu une croissance considérable et continue (+2,49% par an toutes cultures confondues, soit une multiplication par 2,6 en 40 ans) (voir section 1.2.2.4)]. La courbe de croissance des rendements de cette région ne semble pas rencontrer d'asymptote horizontale, ni même ralentir ces dernières années. Il semble donc que cette région possède encore un potentiel d'accroissement des rendements non négligeable.

L'analyse de ces tendances passées pose la question suivante : la région Afrique du Nord – Moyen Orient est-elle en capacité de poursuivre d'ici 2050 le rythme de croissance des rendements des cultures observé entre 1961 et 2000 ?

Figure 42 : Hypothèses de gains de rendements dans différents exercices prospectifs en Afrique du Nord – Moyen Orient



* Dans le scénario Agrimonde 1, les rendements des cultures alimentaires agrègent toutes les cultures alimentaires et sont exprimés en kcal végétales/ha/j, alors que les autres exercices expriment leurs rendements en t/ha de céréales.

Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Griffon (2006), et IAASTD (2009)

rendement maximal (d'après les travaux de Fischer et al. (2000, 2001, 2002)). Il sera aussi un facteur limitant la productivité de la terre en calories végétales. **L'hypothèse retenue dans ce scénario correspond à une croissance de la productivité des cultures alimentaires (tout type de cultures confondues) comprise entre 0,24 à 0,67 % par an (soit un passage de 12 800 kcal/ha/j en 2000 à une fourchette de 14 500 à 18 000 kcal/ha/j en 2050).** L'hypothèse basse est

Les travaux prospectifs existants s'accordent tous sur un ralentissement des gains de rendements des cultures alimentaires à l'avenir dans cette région mais d'ampleur très variable (cf. figure 42). Alors que les scénarios de M. Griffon [Griffon, 2006], du MEA [Carpenter et al., 2005] et le scénario de référence de l'IFPRI pour 2020 [Rosegrant et al., 2001] envisagent des gains inférieurs ou proche de 1% par an (soit +64% sur 50 ans), l'hypothèse haute de l'IAASTD se veut beaucoup plus optimiste (+1,82% de gains par an, soit une multiplication par 2,6 des rendements entre 2000 et 2050), misant sur de forts investissements dans la recherche, le développement et la formation agricoles [IAASTD, 2009]. Seuls les scénarios de l'IFPRI-IWMI à l'horizon 2025 se situent dans une perspective de déclin du niveau de rendement actuel, modéré dans le cas du scénario «gestion durable des ressources en eau» (SUS) (- 0,28% par an entre 1995 et 2025) à fort dans le scénario «crise mondiale de l'eau» (CRI) (-1,28 % par an entre 1995 et 2025)⁹⁴ [Rosegrant et al., 2002]. Par ailleurs, des travaux qui se penchent sur le changement climatique, anticipent une baisse des rendements céréaliers du fait de l'aridification attendue dans cette région (voir les résultats des études de Parry et al. (2004) et de Hoffman et MacDonald (2007) dans l'encadré 5).

Dans le scénario Agrimonde 1, le stress hydrique, dont on suppose qu'il sera accentué par le réchauffement climatique est un facteur de stagnation des surfaces cultivées et irriguées. Seulement 3 millions d'hectares sont nouvellement mis en culture entre 2000 et 2050 et ce, sur des terres au potentiel de rendement inférieur à 20% du rendement maximal (d'après les travaux de Fischer et al. (2000, 2001, 2002)). Il sera aussi un facteur limitant la productivité de la terre en calories végétales. **L'hypothèse retenue dans ce scénario correspond à une croissance de la productivité des cultures alimentaires (tout type de cultures confondues) comprise entre 0,24 à 0,67 % par an (soit un passage de 12 800 kcal/ha/j en 2000 à une fourchette de 14 500 à 18 000 kcal/ha/j en 2050).** L'hypothèse basse est

⁹⁴ Dans son étude « *World Water and Food to 2025: Dealing with scarcity* », l'IFPRI envisage trois scénarios aux gains de rendement céréaliers annuels variant de - 0, 28 % par an entre 1995 et 2025 dans le scénario (SUS) « gestion durable des ressources en eau », - 1, 28 % par an entre 1995 et 2025 dans le scénario (BAU) « maintien des orientations actuelles », à - 1,11 % par an entre 1995 et 2025 dans le scénario (CRI) « crise mondiale de l'eau » [Rosegrant et al., 2002].

à la fois plus prudente que celles de M. Griffon et du MEA mais moins alarmiste que les chiffrages avancés par Parry et al. (2004) calculés en fonction des effets du réchauffement climatique attendus dans cette région (cf. encadré 5). La prudence inciterait ainsi à donner plus de crédit à cette hypothèse basse. Elle suppose donc que des stratégies d'adaptation au changement climatique, et au stress hydrique en particulier, seront mises en place d'ici 2050.

Encadré 5 : Les manifestations attendues du changement climatique en Afrique du Nord – Moyen Orient

En Afrique du Nord – Moyen Orient, les impacts du réchauffement climatique se manifesteront de manière assez homogène d'ici à 2100 selon des travaux du GIEC [IPCC, 2007b] :

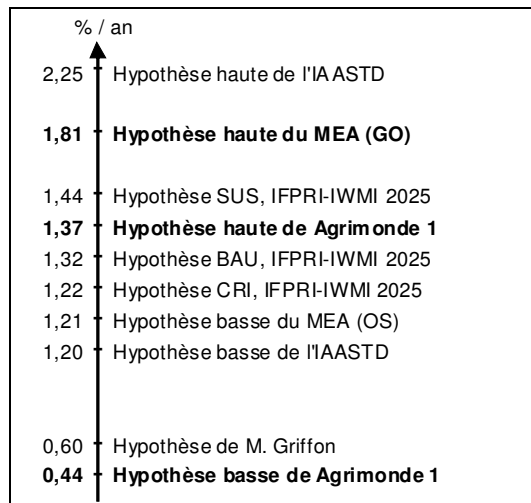
- Les températures s'élèveront de 3 à 5°C en moyenne annuelle en 2080-99 par rapport à 1980-99, sauf sur les côtes du pourtour méditerranéen où elles ne devraient augmenter que de 3 à 3,5°C. Ces hausses de température se ressentiront particulièrement en été où elles se situeront entre + 4 et + 5°C sur tout le Sahara occidental et le Moyen Orient.
- Le pourtour méditerranéen aura tendance à s'assécher, avec une réduction du volume de précipitation atteignant jusqu'à 30% en moyenne annuelle et 50% en été.
- Seuls le Sud de l'Arabie saoudite, le Yémen et Oman connaîtront une hausse des précipitations, pouvant aller jusqu'à 20% en moyenne annuelle.

Parry et al. calculent un niveau de pertes de rendements dans les pays du Sud de la Méditerranée de 0 à 2,5% en 2050 par rapport à 1990 dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO₂ (B1) (soit 0 à - 0,04 % par an) et de 2, 5 à 5% (soit - 0,04 à -0,08% par an) dans le scénario du GIEC aux plus fortes émissions de CO₂ (A1FI). Les pertes de rendements qu'il calcule seront plus grandes dans les pays de l'Est de la Méditerranée : de - 0,04 à - 0,08 % par an dans B1, et de - 0,08 à - 0,17% par an dans A1FI. Son étude est plus optimiste pour la Turquie qui connaîtra des gains de rendements (0 à + 0,04 % par an dans B1 et + 0,04 à + 0,08% par an pour A1FI). [Parry et al., 2004].

Hoffman et MacDonald (2007) chiffrent des pertes de production de - 0,26% par an d'ici 2080 sans fertilisation carbonée, réductibles à -0,10% par an grâce à la fertilisation carbonée.

Quels rendements des cultures alimentaires en Afrique subsaharienne en 2050 ?

Figure 43 : Hypothèses de gains de rendements dans différents exercices prospectifs en Afrique subsaharienne



* Dans le scénario Agrimonde 1, les rendements des cultures alimentaires agrègent toutes les cultures alimentaires et sont exprimés en kcal végétales/ha/j, alors que les autres exercices expriment leurs rendements en t/ha de céréales.

Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Griffon (2006), Rosegrant et al. (2001), (2002) et IAASTD (2009)

Dans la région Afrique subsaharienne, la productivité de la terre en calories végétales alimentaires a pratiquement doublé entre 1961 et 2000 (5 000 kcal végétales/ha/j en 1961 à 9 500 en 2000, soit un taux de croissance de 1,63% par an) (cf. section I.2.24). Malgré un léger ralentissement depuis 2000, la courbe de croissance des rendements de cette région ne semble pas rencontrer d'asymptote horizontale. De plus, en 2000, les rendements des cultures en Afrique subsaharienne sont parmi les plus bas du monde. Les rendements asiatiques, les plus élevés du monde, sont cinq fois supérieurs. L'Afrique subsaharienne possède encore un potentiel d'accroissement des rendements important, mais cette région est-elle en capacité de doubler encore son niveau de rendement des cultures d'ici à 2050 ?

Parmi les scénarios prospectifs auxquels le groupe de travail Agrimonde s'est référé pour appuyer sa réflexion (cf. figure 43), la plupart envisage de doubler encore les rendements des productions céréalières d'ici à 2050 (scénarios *Adapting Mosaic* et *TechnoGarden* du MEA, mais aussi scénario BAU de l'IFPRI-IWMI à 2025, et scénario de référence de l'IFPRI à 2020), voire de les multiplier par 2,5 (scénario *Global Orchestration* du MEA) ou par 3 (hypothèse haute de l'IAASTD). Seuls le scénario de M. Griffon et les scénarios les plus pessimistes en

termes de croissance économique (*Order from Strength* du MEA), de disponibilités des ressources en eau (CRI de l'IFPRI-IWMI à 2025) ou d'avancées de la recherche et de sa mise en application (hypothèse basse de l'IAASTD) n'envisagent pas de reconduire ce doublement des rendements⁹⁵.

Michel Griffon a retenu, pour la région d'Afrique subsaharienne, un scénario dans lequel l'augmentation de la production agricole régionale est supportée par l'extension des surfaces agricoles plutôt que par les gains de rendement. Par conséquent, les rendements ne croissent que de 0,62% par an (soit presque 40% en 50 ans), essentiellement grâce à l'amélioration de la productivité des cultures pluviales (+40% des rendements des cultures pluviales d'ici 2050 contre seulement +15% pour les cultures irriguées). Il précise que d'autres leviers devront également être activés pour le développement de la région Afrique subsaharienne : une amélioration de la gouvernance, le développement des capacités humaines et des infrastructures d'accès au marché.

Encadré 6 : Les manifestations attendues du changement climatique en Afrique subsaharienne

En Afrique subsaharienne, selon les travaux du GIEC, le changement climatique se manifestera de manière différenciée selon les différentes zones considérées d'ici à 2100 [IPCC, 2007b] :

- Le climat de la pointe Sud de l'Afrique tendra à s'aridifier avec des augmentations de température pouvant aller jusqu'à +4°C en moyenne annuelle en 2080-99 par rapport à 1980-99, et des réductions des pluies estimées entre 5 et 10% en moyenne annuelle sur la même période et particulièrement centrées sur les mois de juin-juillet-août qui pourront connaître jusqu'à -50% des précipitations.
- Sur la côte Est et le pourtour du Golf de Guinée, le réchauffement des températures se limitera à une augmentation des températures comprise entre 2 et 3°C en moyenne annuelle en 2080-99 par rapport à 1980-99, et s'accompagnera d'un volume des précipitations accru. Les pluies augmenteront entre 0 et 5 % en moyenne annuelle sur la même période dans le Golf de Guinée et entre 5 et 20% de l'Est de la Tanzanie à l'Éthiopie, avec des pointes durant le premier trimestre pouvant atteindre jusqu'à +50% dans la zone soudano-éthiopienne.

Globalement, Agoumi indique que le changement climatique pourrait exacerber les problèmes d'érosion, réduire les rendements de moitié en agriculture pluviale entre 2000 et 2020, et réduire la période végétative [Agoumi, 2003]. Les terres arides et semi-arides pourraient s'accroître de 5 à 8% d'ici 2080. La situation serait la plus critique dans les zones peuplées d'Afrique centrale, de l'Ouest et du Sud [IPCC, 2007c]. En revanche, les conditions climatiques pourraient permettre un rallongement de la période végétative sur les hautes terres éthiopiennes [Thornton et al., 2006].

Parry et al. calculent un niveau de pertes de rendements dans l'ensemble de la région de 2,5% en 2050 par rapport à 1990 dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO₂ (B1) et allant jusqu'à 5% dans le Sud de l'Afrique, la Côte d'Ivoire, le Ghana et le Cameroun, jusqu'à 10% au Nigéria. Dans le cas du scénario aux plus fortes émissions de CO₂(A1FI), les pertes seraient comprises entre 2,5 et 5% (soit entre -0,04 et -0,08% par an) dans l'ensemble de la région, entre 5 et 10% (soit entre -0,08% et -0,17% par an) au Nigéria et Guinée Bissau [Parry et al., 2004].

Hoffman et MacDonald (2007) chiffrent des pertes de production de - 0,36% par an d'ici 2080 sans fertilisation carbonée, réductibles à -0,21% par an grâce à la fertilisation carbonée.

Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces cultivées en Afrique subsaharienne progressent de 150 millions d'hectares, pris sur des terres au potentiel de rendement supérieur à 60% du rendement maximum (d'après les travaux de Fischer et al. (2000, 2001, 2002)). Les surfaces irriguées doublent et peuvent en partie contribuer à la croissance des rendements des cultures (cf. chapitre II.2.2.1.3). D'autre part, l'Afrique subsaharienne possède un potentiel de gains de rendements élevé. Partant d'un niveau bas, la reconduction du doublement des rendements (toutes cultures alimentaires confondues) observé entre 1961 et 2000 mènerait la productivité de la terre en calories végétales de cette région à un niveau encore inférieur à celui de l'Amérique latine de 2000. Pourtant, les travaux sur le changement climatique ne sont pas très engageants pour cette région du monde (voir encadré 6), certains écosystèmes sont d'ores et déjà en crise écologique (les hautes terres notamment) et la courbe de rendements de cette région connaît un ralentissement depuis la fin du XX^{ème} siècle. Ces derniers critères plaident en faveur d'une hypothèse plus basse de gains de rendements. Par conséquent, **l'hypothèse de rendement des cultures alimentaires retenue dans le scénario Agrimonde 1 pour l'Afrique subsaharienne correspond à une fourchette allant d'un gain de rendement de 25% (0,44% par an, soit à peu près le même ordre de**

⁹⁵ La région Afrique subsaharienne du MEA et d'Agrimonde est plus large que la région Afrique subsaharienne d'IAASTD. Elle englobe en plus Djibouti, la Mauritanie, Mayotte, la Somalie, le Soudan, la Réunion et Sainte Hélène.

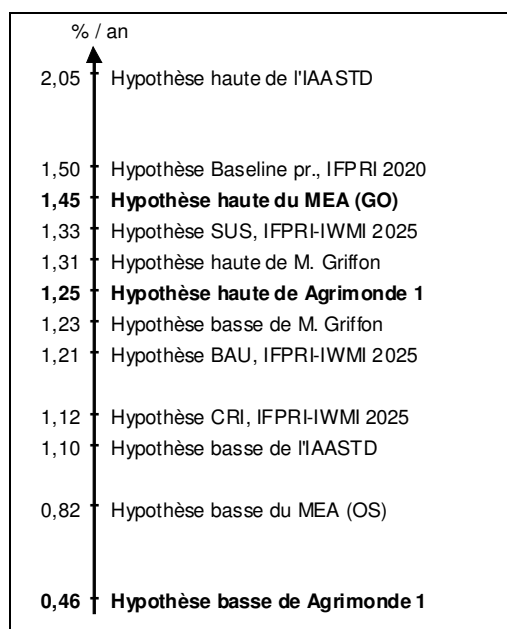
grandeur que dans le scénario de M. Griffon) à un gain de 100% d'ici à 2050 (soit 1,37% par an). Cela revient à passer d'un niveau de rendement de 9 500 kcal/ha/j en 2000 à un niveau compris entre 11 750 et 18 300 kcal/ha/j en 2050.

La fourchette de rendements retenue suppose un certain nombre de changements et d'adaptations à mettre en place en Afrique subsaharienne d'ici 2050. Celles-ci seront discutées dans le chapitre II.4.

Quels rendements des cultures alimentaires en Amérique latine en 2050 ?

Entre 1961 et 2000, les rendements des cultures alimentaires (en kcal/ha/j) ont doublé en Amérique latine (9 000 kcal. végétales/ha/j en 1961 à 18 700 en 2000, soit un taux de croissance de 1,88% par an) (cf. section I.2.2.4). Loin de plafonner, l'augmentation des productivités végétales s'est accélérée entre 1992 et 2003 à tel point que les rendements ont gagné presque 50% durant cette courte période. En 2000, les rendements des productions végétales de cette région figuraient parmi les plus élevés du monde, à un niveau supérieur à celui de l'OCDE-1990 (22 600 kcal./ha/j en OCDE-1990 en 2000).

Figure 44 : Hypothèses de gains de rendements dans différents exercices prospectifs en Amérique latine



* Dans le scénario Agrimonde 1, les rendements des cultures alimentaires agrègent toutes les cultures alimentaires et sont exprimés en kcal végétales/ha/j, alors que les autres exercices expriment leurs rendements en t/ha de céréales.

Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Griffon (2006), Rosegrant et al. (2001), (2002) et IAASTD (2009)

L'analyse de ces tendances passées pose la question suivante : l'Amérique latine est-elle en capacité de doubler encore son niveau de rendement des cultures alimentaires entre 2000 et 2050 ?

Le large potentiel de gains de rendements céréaliers de l'Amérique latine semble être admis dans les scénarios prospectifs existants. A part les scénarios de crise (Scénario *Order from Strength* du MEA, hypothèse basse d'IAASTD et « crise mondiale de l'eau » (CRI) de l'IFPRI-IWMI à 2025), tous font l'hypothèse de taux de croissance annuels qui permettraient à peu près de doubler encore les rendements sur 50 ans (de + 1,21% par an d'augmentation de rendement dans le scénario « maintien des orientations actuelles » (BAU) de l'IFPRI-IWMI à 2025 à + 1,50% par an dans le scénario de référence de l'IFPRI à 2020, voir figure 44). L'hypothèse haute d'IAASTD va même au-delà : avec un taux de croissance des rendements de 2,05% par an, elle correspond à une multiplication par 2,76 en 50 ans.

Dans le scénario de révolution doublement verte de M. Griffon, un certain nombre de justifications et de conditions accompagnent l'hypothèse de doublement des rendements. « Pour les exploitations familiales viables, comme pour les moyennes et grandes exploitations des zones tropicales humides et de savane, les investissements à consentir sont faibles par rapport à l'espérance de résultat. Il est donc réaliste de penser que les potentialités productives pourront s'exprimer sans que des politiques agricoles d'appui soient absolument nécessaires. Par contre, le

secteur des très petites exploitations et des travailleurs sans terres ne peut utiliser les techniques de l'intensification écologique que si des programmes leur permettent d'accéder à la terre, d'agrandir leur surface et d'avoir accès au crédit et au marché » [Griffon, 2006].

Encadré 7 : Les manifestations attendues du changement climatique en Amérique latine

D'ici à 2100, les travaux du GIEC [IPCC, 2007b] projettent en Amérique latine une forte élévation des températures :

- en Amérique centrale, accompagnée d'une réduction des précipitations qui sera exacerbée en été (entre +2,5 et +4°C et -5 à -15% des précipitations en moyenne annuelle en 2080-99 par rapport à 1980-99, et jusqu'à -30% des précipitations en été).
- sur le bassin amazonien, mais couplée à une très forte hausse des pluies (jusqu'à +4°C et entre 0 à +5% des précipitations en moyenne annuelle, et jusqu'à +5°C les mois de décembre-janvier-février).

Le réchauffement du climat sera plus modéré :

- dans le Nord-Est du Brésil, qui connaîtra en revanche une diminution des pluies importante (+2,5 à 3°C et -5 à -50% des précipitations en moyenne annuelle).
- au Sud du continent (Chili et Argentine), où les précipitations baisseront en Patagonie, particulièrement en décembre-janvier-février (+1,5 à 3°C et 0 à -20% en moyenne annuelle).
- dans les zones de pampas qui seront plus arrosées (+2 à 3°C et +5 à +15% en moyenne annuelle, et jusqu'à +20% les mois de décembre-janvier-février).
- sur la zone andine qui recevra également plus de pluies (+2,5 à 3°C et +5 à +15% en moyenne annuelle, et jusqu'à +20% les mois de décembre-janvier-février).

D'ici 2050, la désertification et la salinisation affecteront 50% des terres de la zone Amérique latine et Caraïbes [FAO (2004) cité dans IPCC, 2007c]. Un stress de chaleur accru, associé à des sols plus secs pourrait réduire les rendements d'un tiers dans les zones tropicales et sub-tropicales où les cultures approchent déjà leur point de tolérance maximum [FAO, 2001], et l'aire de production ainsi que les rendements du café pourrait être réduits suite au réchauffement climatique. De plus, malgré une grande variabilité dans les projections de rendements, les travaux s'accordent sur une baisse des rendements en riz après 2010 et une augmentation des rendements du soja quand les effets du CO₂ sont intégrés.

Selon l'étude de Parry et al. (2004), l'impact du changement climatique sur les rendements en 2050 en Amérique latine devrait être relativement homogène. Que ce soit dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO₂ (B1) ou dans celui aux plus fortes émissions de CO₂ (A1FI), les pertes de rendements sont évaluées dans une fourchette de 2, 5% à 5% en 2050 par rapport au niveau de 1990 pour l'ensemble du continent (soit entre -0,04 et -0,08% par an), avec quelques pays plus touchés (entre 5 et 10%, soit entre -0,08% et -0,17% par an, en Equateur, Guyane, Suriname et Uruguay). Seule l'Argentine devrait connaître une hausse de ses rendements, allant de 0 à 2,5% dans le scénario B1 et de 5 à 10% dans le scénario A1FI.

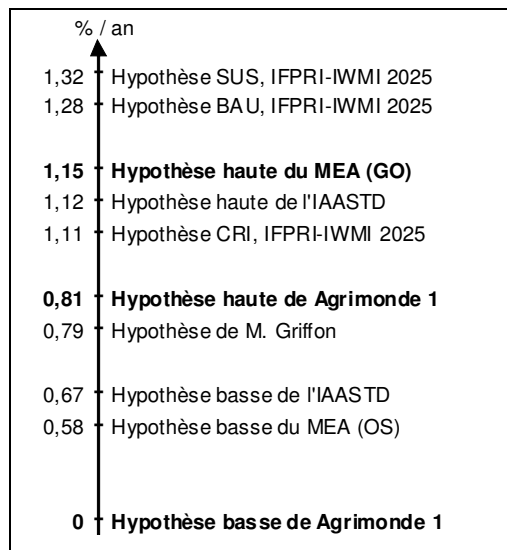
Hoffman et MacDonald (2007) chiffrent des pertes de production de - 0,30% par an d'ici 2080 sans fertilisation carbonée, réductibles à -0,15% par an grâce à la fertilisation carbonée.

Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces cultivées gagnent 150 millions d'hectares sur des terres à bon potentiel agricole en Amérique latine, c'est-à-dire au potentiel de rendement supérieur à 80% du rendement maximum (d'après les travaux de Fischer et al. (2000, 2001, 2002)). En revanche, les surfaces irriguées se maintiennent et ne pourront pas expliquer les gains de rendement de cette région. L'analyse des tendances passées est à la base de la réflexion du groupe de travail Agrimonde. Elle plaide en faveur d'une poursuite de l'accroissement des gains de rendement des cultures alimentaires pour la période 2000-2050 en Amérique latine. De plus, les caractéristiques propres à cette région, c'est-à-dire l'espace disponible important, la faible densité démographique, les disponibilités technologiques et la relative stabilité politique, ne font que conforter cette analyse. Le doublement des rendements n'y paraît pas impossible. Cependant, il est vrai que l'état des sols constitue actuellement déjà un problème, en particulier dans le *Cerrado* et sur les fronts pionniers forestiers où la mise en place de systèmes de cultures et d'élevage extensifs font suite à la déforestation sans souci de reproduction de la fertilité des sols. Le réchauffement climatique est susceptible de fragiliser encore les écosystèmes d'Amérique centrale, du Nord-Est du Brésil et des pampas (voir encadré 7) ce qui incite à envisager une hypothèse plus basse de gains de rendement. Par conséquent, **l'hypothèse de rendement des cultures alimentaires retenue dans le scénario Agrimonde 1 pour l'Amérique latine correspond à une fourchette allant d'un gain de quasiment 30 % d'ici à 2050 (0,46% par an) à un doublement des rendements** (soit 1,25% par an, soit le même ordre de grandeur que la plupart des scénarios auxquels le groupe de travail s'est référé). Cela revient à passer d'un niveau de rendement de 18 700 kcal/ha/j en 2000 à un niveau situé entre 23 500 et 36 600 kcal/ha/j en 2050.

La fourchette de rendements retenue dans le scénario Agrimonde 1 demande un certain nombre de changements et d'adaptations à mettre en place en Amérique latine d'ici 2050. Celles-ci seront discutées dans le chapitre II.4.

Quels rendements des cultures alimentaires en Asie en 2050 ?

Figure 45 : Hypothèses de gains de rendements dans différents exercices prospectifs en Asie



* Dans le scénario Agrimonde 1, les rendements des cultures alimentaires agrègent toutes les cultures alimentaires et sont exprimés en kcal végétales/ha/j, alors que les autres exercices expriment leurs rendements en t/ha de céréales.

Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Griffon (2006), Rosegrant et al. (2002) et IAASTD (2009)

Entre 1961 et 2000, les rendements des cultures alimentaires ont été multipliés par 2,6 en Asie (9 500 kcal végétales/j/ha de terre cultivée en 1961 à 25 100 en 2000) (cf. section I.2.2.4). Ils sont aujourd'hui les plus élevés du monde dans le découpage géographique d'Agrimonde. Cependant, la courbe de productivité en calories végétales par hectare semble stagner ces dix dernières années et pourrait avoir atteint un plateau.

Les rendements des cultures alimentaires peuvent-ils encore gagner 2,53% par an au cours de la période 2000-2050 comme on a pu l'observer entre 1961 et 2000 ? Ou la stagnation engagée depuis le début des années 1990 va-t-elle se poursuivre ?

Parmi les scénarios prospectifs auxquels s'est référé le groupe de travail d'Agrimonde, aucun scénario ne reconduit les gains de rendements permis par la révolution verte en Asie (cf. figure 45). Au mieux, le scénario « gestion durable des ressources en eau » (SUS) de l'IWMI-IFPRI fait l'hypothèse d'une croissance de 1,32% par an jusqu'en 2025. Ce taux, s'il était reconduit jusqu'à 2050, correspond à un doublement des rendements céréaliers en 50 ans, mais aussi à la moitié seulement du taux de croissance des rendements des cultures (toutes cultures confondues) observé entre 1961 et 2000. Les hypothèses hautes des scénarios du MEA et de l'IAASTD sont plus modérées et tournent autour

d'une augmentation des rendements céréaliers de 75% en 50 ans.

Aucun scénario n'envisage cependant un maintien du plateau de rendements observé ces dix dernières années. Même les plus pessimistes (*Order from Strength* du MEA et l'hypothèse basse d'IAASTD) se fondent sur une augmentation de rendement de 35 à 40% d'ici à 2050 (respectivement 0,58 et 0,67% par an).

M. Griffon fait une hypothèse intermédiaire dans son scénario de révolution doublement verte : + 50% d'ici 2050, soit + 0,79% par an. Il précise que l'effort productif « devra être réalisé par un très grand nombre de petites exploitations familiales dont une très grande partie sont des ménages pauvres ». Selon lui, « la politique agricole de révolution verte a inclus la plus grande partie de ces exploitations dans une économie de marché, mais la faiblesse de leur capital les rend financièrement très vulnérables. Cette économie est donc très dépendante des prix et des subventions aux engrais et aux produits sanitaires. Un accroissement de productivité ne peut donc s'envisager sans stimulation profonde par des politiques publiques » [Griffon, 2006].

Encadré 8 : Les manifestations attendues du changement climatique en Asie

L'augmentation de température devrait être très largement supérieure à l'augmentation moyenne mondiale en Chine du Nord, en Mongolie et sur le plateau Tibétain (+3,5 à +5°C en moyenne annuelle en 2080-99 par rapport à 1980-99, avec des pointes à +7°C les mois de décembre-janvier-février en bordure de l'Ex-URSS). Elle serait couplée à une hausse des précipitations, notamment hivernales (entre +5 à +15% des précipitations en moyenne annuelle, voire jusqu'à +50% les mois de décembre-janvier-février) [IPCC, 2007b].

L'élévation des températures devrait être plus modérée sur le reste de la région (+2 à +3,5°C en moyenne annuelle) où les pluies devraient augmenter dans une fourchette de 0 à 10% en moyenne annuelle. De façon saisonnière, la péninsule indochinoise pourrait voir son volume de pluies diminuer en hiver (jusqu'à -20 % sur Myanmar les mois de décembre-janvier-février) [IPCC, 2007b]. Les vagues de chaleur en été seront plus longues, plus fréquentes et plus intenses, les périodes froides se réduiront [IPCC, 2007a].

Les pluies extrêmes et les cyclones tropicaux sont annoncés plus nombreux, tandis que la mousson devrait faiblir.

Un certain nombre d'études suggèrent que le réchauffement climatique pourrait entraîner des réductions substantielles de la production céréalière avant la fin de ce siècle. Les rendements pourraient augmenter de 20 % en Asie de l'Est et du Sud-Est mais décroître de 30% en Asie du Sud [IPCC, 2007c]. En particulier, la production rizicole pourrait baisser de 3,8% d'ici 2100 sous les effets conjugués des stress thermique et hydrique [Murdiyarso (2000) cité dans IPCC, 2007c].

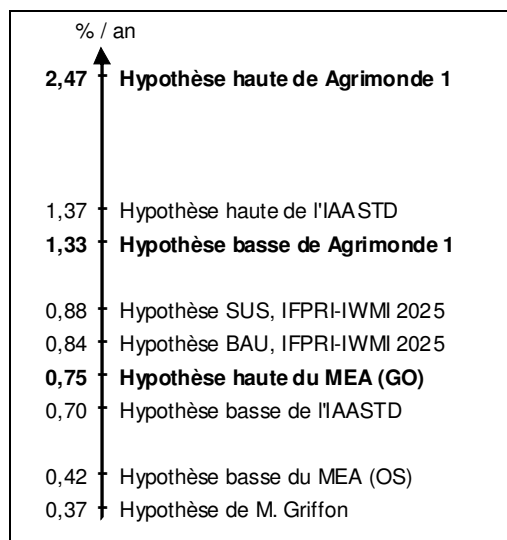
D'après l'étude de Parry et al. (2004), les rendements céréaliers asiatiques ne devraient pas être très affectés par le changement climatique. Ils varieraient globalement de 0 à +2,5% entre 1990 et 2050 (soit entre 0 et +0,04% par an) dans le scénario du GIEC aux plus fortes émissions de CO₂, (A1FI) et de 0 à - 2,5 % dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO₂, (B1) (soit entre 0 et -0,04% par an). Les pertes seraient amplifiées en Inde (entre -2,5 et -5% dans les deux scénarios soit entre -0,04 et -0,08% par an) tandis que la péninsule indochinoise connaîtrait des gains allant de +2,5 à +5% (soit entre +0,04 et +0,08% par an).

Hoffman et MacDonald (2007) chiffrent des pertes de production de - 0,23% par an d'ici 2080 sans fertilisation carbonée, réductibles à -0,08% par an grâce à la fertilisation carbonée.

Dans le scénario Agrimonde 1, les terres cultivées en Asie gagnent une centaine de millions d'hectares entre 2000 et 2050 au prix d'un aménagement permettant de valoriser des terres marginales (environ 70 millions d'hectares sont pris sur des terres au potentiel de rendement inférieur à 40% du rendement maximal, et le reste sur des terres au potentiel de rendement inférieur à 20% du rendement maximal (d'après les travaux de Fischer et al. (2000, 2001, 2002)). La faible progression de l'irrigation (environ 10 millions d'hectares entre 2000 et 2050) ne peut justifier à elle seule des gains de rendements. De plus, le groupe de travail estime que les régions des deltas de riziculture irriguée – Sud Vietnam, Bangladesh, fleuve Jaune – connaîtront une situation nouvelle, l'élévation du niveau de la mer pouvant entraîner leur salinisation. Les récoltes de ces deltas pourront de plus être compromises du fait de l'augmentation de la fréquence d'événements climatiques violents tels que les cyclones, mais également du fait de la baisse de la capacité de rétention des bassins versants en amont (diminution du couvert végétal et des espaces forestiers des zones montagneuses). Par ailleurs, la révolution verte semble avoir atteint ses limites dans ces régions. A l'inverse, il reste en Asie des zones en agriculture pluviale qui peuvent encore offrir des marges de progression de la productivité. Par conséquent, **l'hypothèse de rendement des cultures alimentaires retenue dans le scénario Agrimonde 1 pour l'Asie correspond à une fourchette allant d'un maintien des rendements à une augmentation de 50% des rendements** (soit 0,81% par an, le même ordre de grandeur que dans le scénario de M. Griffon). Cela revient à passer de 25 100 kcal/ha/j en 2000 à entre 25 100 et 37 700 kcal/ha/j en 2050. Sachant que depuis une dizaine d'années la productivité n'a guère progressé, on ne peut faire l'hypothèse d'un accroissement des rendements, ne serait-ce que de 50%, sans l'accompagner d'innovations majeures. Celles-ci seront discutées dans le chapitre II.4.

Quels rendements des cultures alimentaires en Ex-URSS en 2050 ?

Figure 46 : Hypothèses de gains de rendements dans différents exercices prospectifs en Ex-URSS



* Dans le scénario Agrimonde 1, les rendements des cultures alimentaires agrègent toutes les cultures alimentaires et sont exprimés en kcal végétales/ha/j, alors que les autres exercices expriment leurs rendements en t/ha de céréales.

**Les scénarios de l'IAASTD et de l'IFPRI-IWMI à 2025 ne font pas d'hypothèse sur la région Ex-URSS en tant que telle. L'IAASTD l'inclut dans la région Amérique du Nord-Europe, et l'IFPRI-IWMI dans « pays développés ».

Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Griffon (2006), Rosegrant et al. (2002) et IAASTD (2009)

En Ex-URSS, la courbe de productivité de la terre en calories végétales par hectare a globalement progressé de 1961 à 1990 puis a chuté depuis l'ouverture du bloc de l'Est. En 2000, elle n'avait toujours pas retrouvé son niveau de 1990 (11 000 kcal/ha/j en 1990 contre 7 500 kcal/ha/j en 2000) (cf. section I.2.2.4).

M. Griffon table sur un accroissement de 30% des rendements céréaliers dans les plaines de la CEI (Ex-URSS). Les scénarios du MEA envisagent une augmentation des rendements céréaliers comprise entre 20% et 45% entre 2000 et 2050. Le scénario de l'IFPRI pour 2020 retient un taux de croissance dans cette fourchette. La comparaison avec les hypothèses d'IAASTD est malaisée puisque dans leur découpage géographique, l'Ex-URSS fait partie de deux régions : Amérique du Nord-Europe (NAE) et Asie. Dans ces deux régions, les hypothèses hautes et basses des taux de croissance des rendements céréaliers sont respectivement + 0,7% et + 1,37% en NAE et 0,67 et 1,12% en Asie. Quant aux scénarios de l'IWMI-IFPRI à 2025, ils incluent l'Ex-URSS dans un ensemble plus vaste : « Pays Développés ». Les taux de croissance retenus sont compris entre + 0,58% par an pour le scénario CRI « crise mondiale de l'eau » et +0,88% dans le scénario SUS « gestion durable des ressources en eau » (cf. figure 46).

Encadré 9 : Les manifestations attendues du changement climatique en Ex-URSS

L'élévation de température devrait être très largement supérieure à l'augmentation moyenne mondiale en Ex-URSS, et ce quelque soit le scénario du GIEC retenu.

L'augmentation des températures sera particulièrement importante dans les régions situées au Nord du 60^{ème} parallèle (+4 à +5°C dans la partie l'Ouest en moyenne annuelle en 2080-99 par rapport à 1980-99, et +4 à +7°C dans la partie Est). Elle y sera associée avec une hausse des précipitations ou chutes de neige comprises entre 15% et 30% en moyennes annuelles, selon un gradient croissant d'Ouest en Est. Ces tendances seront exacerbées en hiver, période durant laquelle les hausses de température atteindront +10°C et les augmentations de précipitation 50% les mois de décembre-janvier-février [IPCC, 2007b].

Entre le 50^{ème} et le 60^{ème} parallèle Nord, les élévations de températures seront moins impressionnantes, et se situeront entre +3,5 et +4°C dans la partie Ouest de l'Ex-URSS et entre +4 et +5°C dans sa partie Est. Elles seront aussi couplées à des volumes de précipitations jusqu'à + 15 % plus importants en moyenne annuelle en 2080-99 par rapport à 1980-99, voire jusqu'à + 20 % en hivers (mois de décembre-janvier-février) [IPCC, 2007b].

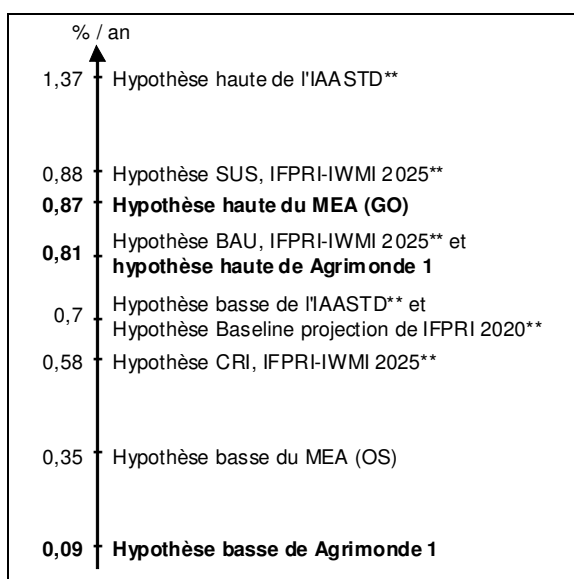
Enfin, au Sud du 50^{ème} parallèle, soit en Asie centrale, les températures seront de 3,5 à 4°C plus élevées en moyenne annuelle en 2080-99 par rapport à 1980-99 et s'accompagneront des précipitations accrues au Nord de la mer Caspienne (jusqu'à +10% de précipitations, et +15% en hiver) et de moindre pluies au niveau de la mer Caspienne (jusqu'à -10% et pouvant atteindre -30% en été) [IPCC, 2007b].

D'après l'étude de Parry et al. (2004), les rendements céréaliers de la région Ex-URSS devraient globalement être affectés par le changement climatique. Ils seraient réduits de 5 à 10% entre 1990 et 2050 (soit entre -0,08 et -0,17% par an) dans les deux scénarios du GIEC A1FI (aux plus fortes émissions de CO₂) et B1 (aux plus faibles émissions de CO₂).

Dans le scénario Agrimonde 1, les surfaces cultivées augmentent d'une centaine de millions d'hectares, en partie sur des terres issues de la remontée des zones pâturées au Nord, sur les terres gagnées par la fonte du pergélisol. Il est probable que ces terres soient d'un potentiel agricole moyen. Les surfaces irriguées se maintiennent et ne peuvent justifier d'augmentation de rendement des cultures. Dans un premier temps, le groupe de travail Agrimonde a jugé réaliste d'envisager que le niveau de rendements des cultures alimentaires de l'Ex-URSS en 2050 rattrape celui de l'OCDE-1990 en 2000, ce qui supposerait un triplement des rendements. Correspondant à un taux de croissance de 2,26% par an, cette hypothèse se situe largement au-dessus de celles retenues dans les différents travaux prospectifs auxquels le groupe de travail s'est référé. Il a donc retenu une hypothèse basse de rendement inférieure, correspondant à une augmentation des rendements des cultures (toutes cultures confondues) de 40% par rapport au niveau de 1990, soit un doublement entre 2000 et 2050. **L'hypothèse de rendement des cultures alimentaires du scénario Agrimonde 1 pour l'Ex-URSS correspond à une fourchette allant d'un doublement (+ 1,33% par an) à un triplement des rendements entre 2000 et 2050 (+ 2,23% par an).** Cela revient à passer d'un rendement de 7 500 kcal/ha/j en 2000 à un niveau compris entre 14 500 et 22 800 kcal/ha/j en 2050. Les conditions de réalisation d'une telle hypothèse, notamment en termes de besoin en main-d'œuvre seront discutées dans le chapitre II.4.

Quels rendements des cultures alimentaires dans la région OCDE-1990 en 2050 ?

Figure 47 : Hypothèses de gains de rendements dans différents exercices prospectifs en OCDE-1990



* Dans le scénario Agrimonde 1, les rendements des cultures alimentaires agrègent toutes les cultures alimentaires et sont exprimés en kcal végétales/ha/j, alors que les autres exercices expriment leurs rendements en t/ha de céréales.

Les gains de rendements pour l'OCDE-1990 ne sont pas précisés dans le scénario de M. Griffon

** Les scénarios de l'IAASTD, de l'IFPRI-IWMI à 2025 et de l'IFPRI à 2020 ne font pas d'hypothèse sur la région OCDE-1990 en tant que telle. L'IAASTD l'inclut dans la région Amérique du Nord-Europe. L'IFPRI-IWMI 2025 et l'IFPRI 2020 l'incluent dans « pays développés ».

Sources : d'après Carpenter et al. (2005), Griffon (2006), Rosegrant et al. (2002) et IAASTD (2009)

Dans La région OCDE-1990, la productivité de la terre en calories végétales a été multipliée par 2 entre 1961 et 2000, passant de 10 700 kcal végétales/ha/j de terre cultivée en 1961 à 22 600 en 2000 (soit 1,92% par an entre 1961 et 2000) (cf. section I.2.2.4). En 2000, les rendements des cultures alimentaires figuraient parmi les plus élevés du monde. Néanmoins, leur progression semble ralentir ces dernières années (cf. figure 48).

Les rendements des cultures alimentaires peuvent-ils encore gagner 1,92% par an au cours de la période 2000-2050 comme on a pu l'observer entre 1961 et 2000 ? Ou le ralentissement engagé ces dernières années va-t-il se poursuivre ?

Parmi les scénarios prospectifs auxquels le groupe de travail d'Agrimonde s'est référé (cf. figure 47), seule l'hypothèse haute d'IAASTD envisage encore un doublement des rendements céréaliers d'ici 2050 (soit +1,37% par an sur 50 ans), misant sur des investissements accrus dans la recherche, le développement et la formation agronomique. Les autres scénarios semblent plutôt converger vers un nouveau gain de rendement de 50% (entre 0,84 et 0,88% par an sur 50 ans), voire de 40% dans le scénario de l'IFPRI à 2020 et l'hypothèse basse de l'IAASTD (+0,7% par an). Enfin, les scénarios de crise envisagent un ralentissement de la progression des rendements en OCDE-1990 plus drastique, avec des hypothèses de croissance des rendements de + 0,35% par an jusqu'en 2050 (soit +20%) dans *Order from Strength* du MEA et de +0,58% par an jusqu'en 2025 dans le scénario

de « crise mondiale de l'eau » (CRI) de l'IFPRI-IWMI (soit l'équivalent de +35% sur 50 ans).

Encadré 10 : Les manifestations attendues du changement climatique dans la région OCDE-1990

Les élévations de température en Amérique du Nord seront particulièrement importantes au Nord du 50^{ème} parallèle Nord, où l'on enregistrera des hausses de températures allant de +3,5 à +7 °C en moyenne annuelle en 2080-99 par rapport à 1980-99, couplées à une augmentation du volume de précipitations de 1 à 30%. Le réchauffement sera plus sensible en hiver où il pourrait atteindre +10 °C alors qu'il restera dans la fourchette +3 à +3,5 °C en été [IPCC, 2007.b]. Au Sud du 50^{ème} parallèle Nord, l'élévation des températures ira globalement de +3,5 à +4 °C avec un gradient Nord-Sud, mais restera entre +3 et +3,5 °C sur les côtes. Les pluies pourraient augmenter jusqu'à 15% des précipitations sauf au Sud des Etats-Unis où elles pourraient connaître une diminution de 30%. En été la diminution du volume des pluies s'étendra à toute la zone (jusqu'à - 30 % des précipitations les mois de juin-juillet-août) [IPCC, 2007b]. D'après l'étude de Parry et al. (2004), les rendements céréaliers des Etats-Unis pourraient connaître une chute de 0 à 2,5% (soit entre 0 et -0,04% par an) et ceux du Canada une hausse de 5 à 10% (soit entre 0,08 et +0,17% par an) entre 1990 et 2050 dans les deux scénarios du GIEC A1FI (aux plus fortes émissions de CO₂) et B1 (aux plus faibles émissions de CO₂).

En Europe et en moyenne annuelle, le réchauffement climatique se fera sentir à mesure que l'on s'éloigne des côtes. Ainsi, alors que la façade Atlantique devrait connaître une hausse limitée à entre +2,5 et +3 °C et la côte méditerranéenne entre +3 et +3,5 °C, les pays plus continentaux d'Europe de l'Est et du Nord subiront des élévations de température comprises entre +3,5 et +7 °C. En revanche, durant la période estivale, les augmentations de température se concentreront sur le pourtour méditerranéen (entre +3,5 et +4 °C alors que le reste de l'Europe ne devrait pas connaître d'augmentation de température supérieure à +3,5 °C) [IPCC, 2007b]. Les évolutions du volume des pluies se feront selon un découpage Europe du Nord / Europe du Sud, la ligne de découpage correspondant au 50^{ème} parallèle Nord. Au Nord de ce parallèle, les pluies augmenteront selon un gradient Nord-Sud entre +5 et +20 % en moyenne annuelle. Au Sud de ce parallèle, elles se réduiront de 0 à +30 %. La ligne de partage remontera jusqu'au 55^{ème} parallèle Nord en été et redescendra jusqu'au 45^{ème} parallèle Nord en hiver [IPCC, 2007b]. D'après l'étude de Parry et al. (2004), les rendements céréaliers d'Europe de l'Est pourraient être affectés par le changement climatique, et diminuer de 5 à 10 % entre 1990 et 2050 dans le scénario du GIEC aux plus fortes émissions de CO₂, (A1FI) à entre 10 et 30 % dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO₂, (B1) (soit entre -0,08 et -0,17 % par an dans A1FI et entre -0,17 et -0,59 % par an dans B1). Ils augmenteraient en revanche en Europe de l'Ouest de 5 à 10 % dans A1FI et de 2,5 à 5 % dans (B1) (soit entre +0,08 et +0,17 % par an dans A1FI et entre +0,04 et -0,08 % par an dans B1).

En Australie, le réchauffement climatique serait particulièrement prégnant à l'intérieur de l'île (+3 °C à +4 °C en moyennes annuelles) par rapport aux côtes (entre +2 °C et +2,5 °C sur la façade sur l'océan Indien et entre +2,5 °C à +3,5 °C sur le reste des côtes). Les précipitations augmenteront en moyenne annuelle de 0 à +5% dans la partie Nord-Est de l'île, alors qu'elles auront tendance à diminuer de 5 à 20 % dans sa partie Sud-Ouest [IPCC, 2007b]. En Nouvelle-Zélande, les températures s'élèveront peu (entre +1,5 °C à +2,5 °C en moyenne annuelle) et les précipitations pourront s'élever jusqu'à 10 % au Nord de l'île [IPCC, 2007b]. D'après l'étude de Parry et al., les rendements céréaliers d'Australie et de Nouvelle-Zélande augmenteraient de +2,5 à +5 % entre 1990 et 2050 (soit entre 0,04 et -0,08 % par an) dans le scénario du GIEC aux plus faibles émissions de CO₂, (B1) à entre 5 à 10 % (soit entre +0,08 et +0,17 % par an) dans le scénario du GIEC aux plus fortes émissions de CO₂, (A1FI).

Hoffman et MacDonald (2007) chiffrent des pertes de production dans les pays développés de - 0,26% par an d'ici 2080 sans fertilisation carbonée, réductibles à -0,10% par an grâce à la fertilisation carbonée.

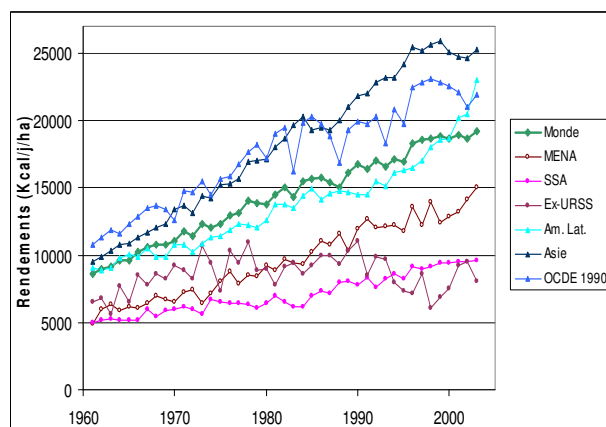
Dans le scénario Agrimonde 1, les terres cultivées gagnent presque 80 millions d'hectares sur des terres au potentiel de rendement supérieur à 60 % du rendement maximum. Les surfaces irriguées se maintiennent et ne peuvent être considérées comme un facteur de progression des rendements. D'autre part, le groupe de travail estime que les réserves d'augmentation des rendements des cultures (toutes cultures confondues) en OCDE-1990 ne sont pas inexistantes ; les pays d'Europe de l'Est n'ont pas rattrapé en 2000 leur niveau de 1990 et certains pays comme l'Australie et la Nouvelle-Zélande se caractérisent par des systèmes de production encore très extensifs. Enfin, la recherche agronomique peut encore faire progresser les rendements des variétés cultivées dans cette région, que ce soit par la voie de la sélection variétale ou par l'amélioration des pratiques de production. Il ne lui paraît donc pas irréaliste d'envisager encore une augmentation de 50% des rendements des cultures alimentaires sur 50 ans, comme la plupart des scénarios auxquels il s'est référé. Néanmoins, dans un scénario de développement durable, la recherche de qualité des produits sur le plan tant organoleptique et sanitaire qu'environnemental pourrait se traduire par une moindre intensification des systèmes de production. Par conséquent, **l'hypothèse de rendement des cultures alimentaires retenue dans le scénario Agrimonde 1 pour la région OCDE-1990 correspond à une fourchette allant d'un maintien des rendements à une augmentation de + 50% des rendements** (soit 0,81% par an, le même ordre de grandeur que dans les scénarios *Techno Garden* et *Global Orchestration* du MEA, et que les scénarios « BAU » et SUS de l'IFPRI-

IWMI à 2025). Cela revient à passer d'un niveau de rendement de 22 600 kcal/ha/j en 2000 à un niveau compris entre 22 600 et 34 400 kcal/ha/j en 2050. Les conditions de réalisation d'une telle hypothèse seront discutées dans le chapitre II.4.

Récapitulatif : Quels rendements des cultures alimentaires dans le monde en 2050 ?

Au niveau mondial, la production de calories végétales par hectare a doublé entre 1961 et 2000, passant de 8 600 kcal/j/ha en 1961 à 18 700 kcal/j/ha en 2000. Derrière cette courbe moyenne mondiale chaque région a suivi sa dynamique propre et les évolutions régionales reflètent des expressions différenciées de facteurs multiples allant des progrès technologiques (amélioration variétale, intensification en intrants, accroissement des cultures irriguées) à l'organisation du secteur agricole (politiques agricoles, accès à la formation, au crédit, à la terre etc.) sans oublier le niveau de rendement initial.

Figure 48 : Evolution des rendements des cultures alimentaires dans les différentes régions du monde entre 1961 -2003



Source : D'après Dorin (cf. chapitre I.2)

Malgré la diversité des trajectoires suivies dans les différentes régions du monde, deux grands groupes de régions semblent se distinguer en 2000 (cf. figure 48) :

- Un groupe de régions qui conserve les rendements des cultures alimentaires les plus bas durant toute la période : Afrique subsaharienne, Afrique du Nord - Moyen Orient, ancienne Union soviétique (de 4 900 à 6 500 kcal/j/ha en 1961 et de 9 400 à 12 800 kcal/j/ha en 2000)
- Un groupe de régions qui conserve les rendements des cultures alimentaires les plus élevés durant toute la période : Amérique latine, Asie et OCDE-1990 (entre 9 000 et 10 700 kcal/j/ha en 1961 et de 18 700 à 25 100 kcal/j/ha en 2000).

De plus, les disparités de rendement n'ont fait que s'accroître ; alors que l'écart entre la région la moins productive et la région la plus productive en 1961 allait du simple au double, il va de 1 à 3,4 en 2000.

Dans le scénario Agrimonde 1, les régions Asie, OCDE-1990 et Afrique du Nord – Moyen Orient sont les régions où peu de réserves de croissance des rendements ont été identifiées. Elles connaissent par conséquent une faible progression de leurs rendements végétaux entre 2000 et 2050 (0 à 20 % pour la fourchette basse de rendements retenus et 40 à 50 % pour la fourchette haute). L'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne ont plus de facilité à accroître leur niveau de rendement des cultures alimentaires. Dans le scénario Agrimonde 1, elles suivent la même progression (entre 30 % et 100% de gains de rendements). Enfin, l'Ex-URSS opère un rattrapage spectaculaire et double son niveau de rendement des cultures alimentaires dans l'hypothèse basse, et les triple dans l'hypothèse haute (cf. tableau 13 et graphique 16).

Malgré tout, les deux groupes de régions différenciés par leurs niveaux de rendements dans le passé se modifient peu entre 2000 et 2050 :

- Si l'on considère la fourchette basse de rendements des cultures alimentaires envisagée, ils restent inchangés.
- Si l'on considère la fourchette haute, les régions Afrique du Nord – Moyen Orient restent en bas de l'échelle, l'EX-URSS rattrape le groupe formé par l'Amérique latine, l'Asie et la région OCDE-1990.

Dans les deux cas, en 2050, l'Asie reste la région la plus productive du monde avec 37 700 kcal végétales/ha/j.

Enfin, l'écart de rendements entre la région la moins productive et la région la plus productive se réduit. En 2050, il va du simple au double. Les disparités de rendements sont à nouveau les mêmes qu'en 1961.

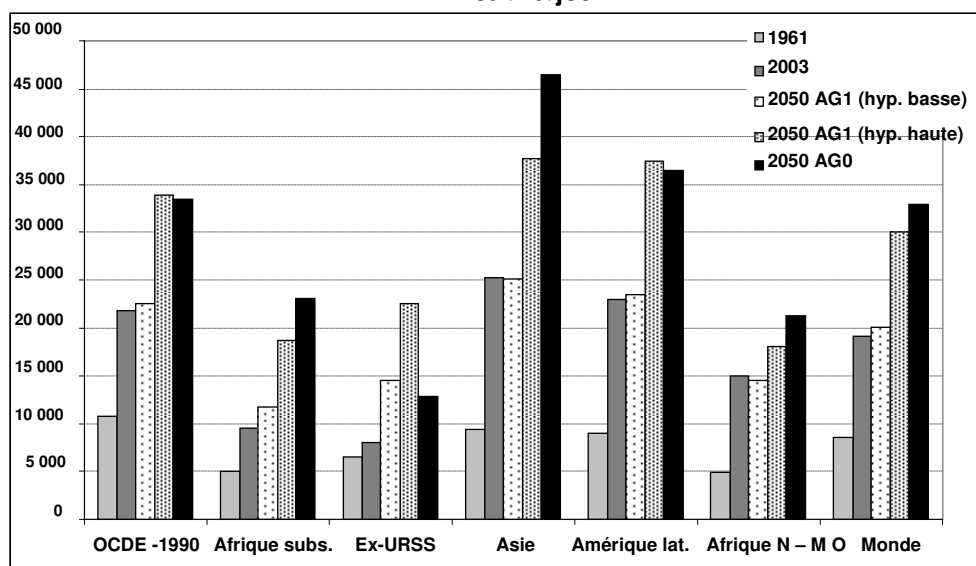
Tableau 13 : Rendement des cultures alimentaires et taux d'accroissement annuels dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO

Région	1961-2000			2000-2050					
				Agrimonde 1, hypothèse basse		Agrimonde 1, hypothèse haute		Agrimonde GO	
	Rendement des cultures (kcal/ha/j)		Taux d'accroissement annuel	Rendement des cultures (kcal/ha/j)	Taux d'accroissement annuel	Rendement des cultures (kcal/ha/j)	Taux d'accroissement annuel	Rendement des cultures (kcal/ha/j) ¹	Taux d'accroissement annuel
	1961	2000	1961-2000	2050	2000-2050	2050	2000-2050	2050	1997-2050
MONDE	8607	18705	2,01	20027	0,14	30117	0,96	32940	-
Afrique N.- MO	4921	12840	2,49	14500	0,24	17970	0,68	21362	1,05
Afrique sub-sah	5027	9450	1,63	11750	0,44	18677	1,37	23133	1,81
Amérique latine	9041	18690	1,88	23500	0,46	37444	1,25	36493	1,45
Asie	9485	25130	2,53	25100	0	37701	0,81	46416	1,15
Ex-URSS	6549	7480	0,34	14500	1,33	22587	2,23	12825	0,75
OCDE-1990	10742	22590	1,92	22600	0	33881	0,81	33507	0,73

¹ Le rendement des cultures du scénario GO pour 2050 exprimé en kcal/ha/j n'est pas donné par le MEA. Les rendements régionaux ont donc été recalculés en appliquant le taux d'accroissement annuel donné par le MEA entre 1997 et 2050 aux rendements régionaux donnés par FAOSTAT1. Le rendement mondial correspond au rapport entre la production mondiale et la surface mondiale en 2050 (cf. section II.2.2.2).

Source : d'après Dorin (cf. chapitre I.2)

Graphique 16 : Rendements observés (1961 et 2003) et prospectifs (2050) en kcal/ha/jour



Source : Dorin et Le Cotty, à partir de données FAO et d'hypothèses de scénarios (Agrimonde et MEA)

II.3 Les bilans Ressources – Emplois : comparaison des scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO

Jean-Marc Chaumet, Tristan Le Cotty, Sébastien Treyer

La construction d'un bilan mondial quantitatif pour un scénario comprend deux phases. La première phase est l'élaboration d'hypothèses sur la population, les disponibilités alimentaires (végétales et animales), les surfaces (cultivées et en pâture) et les rendements. Cette phase est décrite dans le chapitre précédent (II.2.) et l'annexe 12 résume ces hypothèses. La deuxième phase consiste à construire un bilan mondial des emplois et des ressources de biomasse végétale et animale. Elle suppose de choisir des règles d'équilibrage (le « bouclage ») permettant de déterminer les variables non fixées par le groupe (échanges interrégionaux, alimentation des animaux, et productions animales), et d'interpréter le solde mondial des échanges, et de répondre à la question : les besoins alimentaires de la population mondiale tels que définis dans un scénario peuvent-ils être satisfaits par les ressources globales telles qu'envisagées ? Le bilan alimentaire n'est pas une simulation des échanges mais plutôt un test global de cohérence des hypothèses quantitatives faites dans la description des différentes composantes des scénarios.

Les composantes de l'équilibre ressources - emplois sont listées et définies dans la section II.3.1, le bilan ressources - emplois de 2003 est présenté dans la section II.3.2, les règles d'équilibrage des bilans prospectifs sont décrites de manière générique (II.3.3) avant d'être appliquées aux hypothèses du scénario Agrimonde 1 (II.3.4) ainsi qu'à celles du scénario Agrimonde GO (II.3.5).

II.3.1 Définition des composantes d'un bilan ressources - emplois

L'équilibre ressources - emplois est établi pour chaque région et chaque compartiment de produit (végétal, de ruminants, de monogastriques, de la mer et d'eau douce) par l'équation de base : Emplois = Ressources soit, en détails :

$\begin{aligned} &\text{Disponibilités alimentaires}^{96} + \text{aliments du bétail} + \text{semences} + \text{pertes}^{97} + \text{valorisations non} \\ &\quad \text{alimentaires de cultures consommables} \\ &= \\ &\text{Production} + \text{importations} - \text{exportations} + \text{déstockage} - \text{stockage} \end{aligned}$

Dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO, les variations de stocks sont inconnues et ne sont donc pas prises en compte. L'équation utilisée est donc :

$\begin{aligned} &\text{Disponibilités alimentaires} + \text{aliments du bétail} + \text{semences} + \text{pertes} + \text{valorisations non alimentaires} \\ &\quad \text{de cultures consommables} \\ &= \\ &\text{Production} + \text{importations} - \text{exportations} \end{aligned}$

Lorsque l'on établit les bilans passés, l'ensemble de ces variables est connu, et il s'agit de vérifier si ces bilans sont équilibrés ou non (voir la partie I).

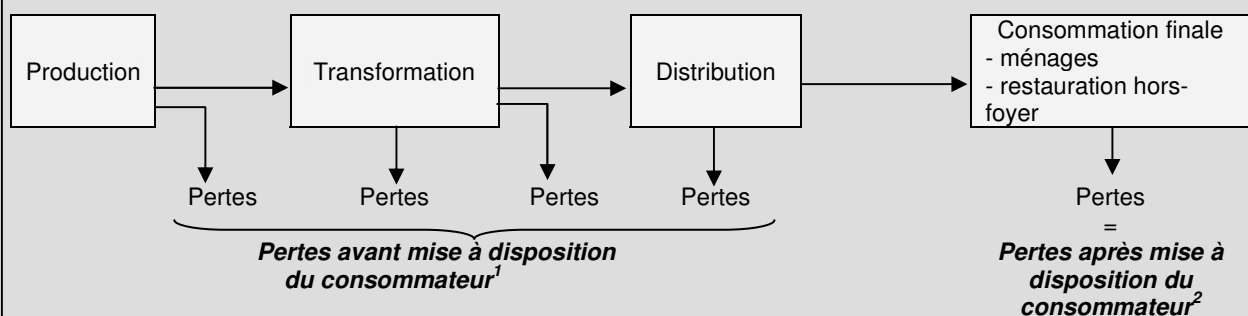
Lorsque l'on établit des bilans prospectifs, certaines de ces variables sont fixées par hypothèse du groupe pour un scénario : la disponibilité alimentaire (en calories), les semences (en % des usages), les pertes (en %), les VANA (en %), la production végétale (en calories).

Une fois ces variables renseignées, d'autres variables sont déterminées par un processus d'équilibrage décrit ci-dessous (cf. section II.3.3) : les aliments du bétail, la production animale, et le commerce inter-régional.

⁹⁶ Disponibilité alimentaire apparente : ratio entre, d'une part, l'équivalent calorique des quantités de biens alimentaires disponibles (production + importations - exportations +/- variations de stocks) pour l'alimentation des habitants d'une région (i.e., hors alimentation animale, usages non alimentaires, semences et pertes après récolte), d'autre part, le nombre d'habitants de cette région. Le numérateur inclut les pertes entre la mise à disposition des ménages ou des collectivités, et la quantité effective ingérée.

⁹⁷ Pertes avant mise à disposition de l'utilisateur. Voir encadré 11 et la définition exacte de FAOSTAT à la section I.2.1.6.

Encadré 11 : Pertes de calories aux différentes étapes entre la production et la consommation finale



Des estimations de pertes très importantes sont exposées dans certaines sources :

- une moyenne mondiale de 30% est estimée par [Smil, 2000] ; cette perte étant répartie également entre pertes à la récolte et pertes dans la distribution et la consommation.

Ces pertes sont très différentes selon que l'on considère les pays développés ou en développement :

- Dans le premier cas, une part importante de pertes a lieu chez le consommateur ou en restauration hors-foyer : jusqu'à 30% aux Etats-Unis [Kantor et al. 1997] et en Grande-Bretagne, par exemple [WRAP, 2007] ;
- Dans les pays en développement, l'essentiel des pertes a lieu au champ (20 à 40%) puis pendant le transport et le stockage (15%) [Kader, 2005].

¹Les pertes *avant mise à disposition du consommateur* sont les pertes faisant l'objet des statistiques de la FAO. Elles n'incluent ni les pertes au champ, ni les pertes à la consommation finale, et leur moyenne mondiale en 2000 est de 4% du total des usages. Ces pertes sont prises en compte explicitement dans les hypothèses de bouclage en 2050. N'ayant pas été l'objet d'une analyse approfondie dans cet exercice, elles sont représentées de manière très conventionnelle. Dans le scénario Agrimonde 1 : elles ne dépassent jamais 4% du total des usages régionaux, dans le scénario Agrimonde GO, le pourcentage régional de 2000 est reconduit en 2050.

²Les pertes *après mise à disposition du consommateur* sont incluses dans les disponibilités alimentaires et ne font pas l'objet de statistiques de la FAO. L'hypothèse de la réduction de ces pertes dans le scénario Agrimonde 1 est un facteur explicatif important de la maîtrise du niveau de disponibilités alimentaires par habitant en 2050 dans ce scénario.

II.3.1.1 Définition des composantes des ressources régionales de biomasse

Composantes des ressources régionales de biomasse végétale

Les hypothèses sur les rendements et les surfaces cultivées en 2050 permettent de déterminer, dans chaque région, les ressources en biomasse végétale. Ces ressources sont exprimées en gigakilocalories par jour, soit 10^9 kcal totales.

Rendements (Gkcal/ha/j)	X	Surfaces cultivées dédiées à l'alimentation (ha)	=	Ressources régionales de biomasse végétale avant échanges interrégionaux (Gkcal/jour)
----------------------------	---	--	---	--

Le solde des échanges de calories végétales peut également constituer une ressource pour les pays déficitaires (si imports - exports > 0) et s'ajoute alors aux ressources régionales de biomasse végétale produites dans la région.

Composantes des ressources régionales de biomasse animale⁹⁸

Les ressources régionales de ressources animales incluent l'ensemble des calories animales (de monogastriques et de ruminants) produites dans la région et le solde des échanges de calories animales. Selon le mode d'équilibrage retenu (cf. section III.3.3), la production de calories animales peut être fixée par hypothèse (par exemple égale aux besoins régionaux, comme dans la variante 1) ou déduite des fonctions de production (cas de la variante 2). Ce deuxième cas suppose que soient fixés l'alimentation du bétail, les surfaces pâturées, et la richesse en protéine de la ration animale moyenne (cf. la section I.2.8.).

II.3.1.2 Définition des composantes des emplois régionaux de biomasse

Composantes des emplois régionaux de biomasse végétale

Dans le cadre du bilan ressources - emplois du scénario considéré, les ressources en biomasse végétale ont quatre emplois : alimentation humaine directe, alimentation animale, pertes / VANA / semences, exportations.

- L'alimentation humaine directe :
Les hypothèses chiffrées concernant la population et les disponibilités alimentaires par habitant en 2050 permettent le calcul pour chacune des six régions du monde des emplois de biomasse (population de 2050 x disponibilités de 2050 /jour/habitant) exprimées en gigakilocalories (Gkcal) végétales.

Population régionale (millions d'hab.)	X	Disponibilité alimentaire végétale (kcal/hab./j)	=	Disponibilités régionales végétales (Gkcal/jour)
---	---	---	---	--

- L'alimentation animale :
Cet emploi correspond à la quantité de calories végétales nécessaires pour produire dans la région la quantité souhaitée de produits animaux. Il est donc lié au niveau de production animale régionale. Il peut être fixé par le groupe pour chaque région ou calculé par tâtonnement à partir des fonctions de production (selon le mode de bouclage choisi, cf. section II.3.3).
- Autres emplois⁹⁹ :
Il s'agit des pertes entre la production et la mise à disposition du consommateur, des valorisations autres qu'alimentaires et des semences.

Composantes des emplois régionaux de biomasse animale

- L'alimentation humaine :
Cet emploi est obtenu, pour chaque région du monde, en multipliant la population de 2050 par les disponibilités alimentaires animales de ruminants et de monogastriques par jour et par habitant en 2050 pour aboutir à des disponibilités par région et par jour exprimées en « gigakilocalories » (Gkcal), de calories de ruminants et de monogastriques.

⁹⁸ Le bilan ressources – emplois de biomasse traite indépendamment les calories aquatiques d'eau douce et d'eau marine : il a en effet été supposé que chaque région produisait elle-même les calories aquatiques qu'elle consomme, et que les calories aquatiques n'interagissaient pas avec les calories terrestres.

⁹⁹ Dans le cas du scénario Agrimonde 1, ces hypothèses de base sur les niveaux d'utilisation des produits végétaux sous la forme de semences, de valorisation non alimentaires, ou de pertes avant mise à disposition de l'utilisateur n'ont pas fait l'objet de discussions approfondies par le groupe de travail. Les pourcentages de ces trois catégories par rapport au total régional des usages sont conservés à l'identique dans chaque région entre 2000 et 2050, sauf spécification contraire prévue dans le scénario (voir annexe 12). Elles constituent des hypothèses minimales de cohérence avec les deux scénarios envisagés, mais elles pourraient faire l'objet d'un approfondissement pour envisager des hypothèses plus nettement contrastées (les pertes pourraient être encore réduites, mais cela n'est pas apparu, vu les ordres de grandeur, comme le principal facteur de changement ; les valorisations non alimentaires reflètent une part non nulle mais faible des productions à vocation alimentaire destinées à d'autres utilisations, parmi lesquelles par exemple les agro-carburants de première génération non approvisionnés par des cultures dédiées ; des hypothèses plus en rupture concernant le développement de la chimie verte pourraient être envisagées dans d'autres scénarios).

Population régionale (millions d'hab.)	X	Disponibilité Alimentaire de ruminants/monogastriques (kcal/hab./j)	=	Disponibilités régionales de ruminants/monogastriques (Gkcal/jour)
---	----------	---	----------	--

- Autres emplois :
Il s'agit des pertes entre la production et la mise à disposition du consommateur, des utilisations de calories animales pour l'alimentation animale (farines animales, lait en poudre etc.), des valorisations autres qu'alimentaires et les semences. Les hypothèses de scénarios portent sur les pourcentages de ces quatre catégories¹⁰⁰

II.3.2 Bilan ressources - emplois en 2003

Il a été possible de réaliser un bilan ressources - emplois en 2003 pour illustrer la situation au début du XXI^{ème} siècle (cf. tableau 14). Ce bilan s'appuie sur les données du module quantitatif Agribiom (voir chapitre I.2) qui utilise les données de la FAO en ce qui concerne les rendements, surfaces et disponibilités, et les chiffres de l'ONU pour les populations. Le tableau 14 présente les productions, usages et le solde des échanges pour chaque région ainsi que le bilan mondial. Il donne une référence à laquelle comparer les bilans pour 2050 des scénarios envisagés.

Tableau 14 : Synthèse du bilan ressources – emplois en 2003

		Productions régionales en Gkcal/j	Emplois régionaux en Gkcal/j	Soldes régionaux en Gkcal/j
Afrique du Nord – Moyen Orient	Végétaux	1 262	1 985	-724
	Animaux	126	153	-28
Afrique subsaharienne	Végétaux	1 938	2 191	-253
	Animaux	93	108	-15
Am. latine	Végétaux	3 766	3 109	657
	Animaux	377	394	-18
Asie	Végétaux	11 647	11 807	-160
	Animaux	1 186	1 230	-44
Ex-URSS	Végétaux	1 619	1 580	40
	Animaux	197	220	-23
OCDE-1990	Végétaux	9 109	8 669	440
	Animaux	1 565	1 437	127
		Productions mondiales en Gkcal/j	Emplois mondiaux en Gkcal/j	Solde mondial en Gkcal/j
Monde	Végétaux	29 341	29 341	0
	Animaux	3 544	3 543	0

Le solde des échanges régionaux correspond à la différence entre la production régionale et les emplois régionaux¹⁰¹. Il correspond au solde des échanges entre les pays d'une région et les pays situés en dehors de la région. On constate que trois régions sont déficitaires en calories végétales et en calories animales : Afrique du Nord – Moyen Orient, Afrique subsaharienne et Asie. Le déficit net cumulé de ces régions est de 1137 Gkcal/jour en calories végétales et de 87 Gkcal/jour en calories animales.

¹⁰⁰ Dans le scénario Agrimonde 1, les pourcentages de ces 4 usages de calories animales (pertes, VANA, Semences, et Feed en calories animales) sont conservés à l'identiques entre 2003 et 2050.

¹⁰¹ Il peut exister une différence de 1Gkcal/j./hab due aux sommes de nombres arrondis. Notons que ces soldes régionaux en calories ne sont pas comparables à des soldes commerciaux exprimés en valeur puisque les calories exportées peuvent être en moyenne plus chères que les calories importées ou inversement.

Deux régions sont excédentaires en calories végétales mais déficitaires en calories animales¹⁰² (Amérique latine et Ex-URSS) et une région est excédentaire pour les deux catégories de calories (OCDE-1990).

II.3.3 Les règles d'équilibrage ressources - emplois des scénarios prospectifs

Une fois fixées les hypothèses quantitatives pour les variables qui restent constantes pendant l'équilibrage (production végétale de chaque région, disponibilités alimentaires, % de pertes, % de VANA, % de semences), nous voulons déterminer la valeur des variables inconnues avant cet équilibrage : productions animales de chaque région, alimentation des animaux de chaque région, soldes régionaux des échanges. Il existe différentes possibilités pour confronter les hypothèses de ressources et les hypothèses d'emplois, qui reposent sur des règles de prise en compte des échanges. Nous proposons ci-dessous deux d'entre elles (deux variantes). Il faut préciser ici qu'il ne s'agit en rien de simuler les échanges de 2050. Les transferts retenus représentent une configuration possible des échanges mondiaux parmi d'innombrables autres qui permettraient de constater un équilibre ou un déséquilibre, voire d'équilibrer les soldes ressources – emplois mondial et régionaux. La finalité de cet exercice est bien de vérifier si un équilibrage des emplois et ressources dans les différentes régions du monde est possible, sur la base des ordres de grandeurs retenus dans les hypothèses quantitatives des scénarios.

Les deux modes d'équilibrage que nous avons testé (2 variantes) sont d'abord deux modes de calculs correspondant à deux représentations possibles des échanges des calories végétales et/ ou animales. Ils n'ont aucune valeur de prescription quant aux choix à faire en matière d'échange d'alimentation animale ou de produits finis d'origine animale.

- (i) Dans la variante 1, les productions animales sont fixées par une règle (chaque région produit les produits animaux correspondant exactement à ses besoins en produits animaux). L'alimentation des animaux est déduite grâce aux fonctions de production, et le solde des échanges (exprimé uniquement en calories végétales) est déduit de l'équilibre régional ressources - emplois.
- (ii) Dans la variante 2, l'alimentation des animaux est fixée par une règle simple (c'est ce qu'il reste de la production végétale de la région après couverture des besoins alimentaires humains, pertes, VANA et semences). La production animale est donnée par les fonctions de production et le solde des échanges est déduit de l'équilibre régional ressources - emplois (calories végétales pour compléter éventuellement les usages humains et calories animales pour compléter les usages humains).

L'intérêt de la variante 1 est d'illustrer un solde régional de manière synthétique, en une seule unité (les calories végétales), correspondant à ce qu'une région doit importer pour nourrir les hommes et les animaux qu'elle consomme. L'intérêt de la variante 2 est de faire apparaître le solde des calories végétales destinées à « nourrir les hommes » et le solde des calories animales destinées à « nourrir les hommes ». Le détail de la réalisation de l'équilibre est présenté ci-dessous pour chaque variante.

II.3.3.1 Les étapes de la variante 1

Dans cette variante 1, chaque région produit exactement la quantité de calories animales qu'elle consomme, et importe ou exporte seulement les calories végétales excédentaires ou déficitaires pour couvrir tous ses besoins (y compris pour l'alimentation animale).

Étape 0 : Ressources végétales initiales

Les ressources végétales initiales de chaque région sont égales à la production végétale de la région.

¹⁰² Ce bilan reflète la situation réelle de chaque région : certaines exportent des végétaux et importent des produits animaux ou exportent des produits animaux et importent des produits végétaux.

Etape 1 : Calcul des besoins

Calories végétales

Les besoins en calories végétales fixés par hypothèse sont :

- L'alimentation humaine;
- Les valorisations autres qu'alimentaires (en % des usages)
- Les semences (en % des usages)
- Les pertes (en % des usages)

Les besoins en calories végétales liés à l'alimentation des animaux sont calculés de façon que la production de calories animales soit égale aux besoins de la région en calories animales. On utilise les fonctions de production pour trouver par tâtonnement la quantité d'alimentation du bétail qui permette de produire la production animale visée (fixée par hypothèse), étant donné la surface en pâture (fixée par hypothèse¹⁰³, cf. section II.2.2.1).

Calories animales

Les besoins en calories animales sont fixés *a priori* par hypothèse (disponibilité alimentaire et autres usages)

Etape 2 : Equilibrage des bilans régionaux par les échanges

Calories végétales

Deux cas peuvent se produire :

- (i) les ressources végétales initiales de la région (la production) ne couvrent pas la totalité des besoins en calories végétales de la région définis ci-dessus ; la région importe alors les calories végétales correspondant à la différence entre tous les besoins (définis ci-dessus) et les ressources végétales initiales de la région.
- (ii) les ressources végétales initiales de la région couvrent ces besoins. La région exporte les calories correspondant à la différence entre sa production végétale et ses besoins régionaux définis ci-dessus.

Calories animales

L'équilibre des calories est assuré à l'étape 1. Chaque région produit exactement les calories animales qu'elle utilise.

Etape 3 : Equilibrage global

Le solde mondial des échanges permet de vérifier si le total des emplois est compatible avec le total des ressources. Si les besoins et les ressources de chaque région sont équilibrés, cela conduit à un bilan global équilibré, et alors les hypothèses quantitatives du scénario sont cohérentes. La quantité de calories exportables est égale aux besoins d'importations. Dans le cas contraire, le solde mondial peut être interprété par le groupe (le scénario est excédentaire ou déficitaire).

II.3.3.2 Les étapes de la variante 2

Cette variante suppose que les régions déficitaires importent des calories végétales pour couvrir les besoins humains en calories végétales et des calories animales pour couvrir les besoins humains en calories animales. Il n'y a pas d'échanges d'aliment des animaux.

Les étapes du bilan sont alors les suivantes :

Etape 0 : Ressources végétales initiales

Les ressources végétales initiales de chaque région sont égales à la production végétale de la région.

Etape 1 : Calcul des besoins en calories

Calories végétales

Les besoins en calories végétales fixés par hypothèse sont :

- L'alimentation humaine

¹⁰³ Comme d'autres paramètres des scénarios, il serait utile que la surface de pâture soit endogène et non fixée une fois pour toutes dans le scénario. En effet, selon la variante utilisée, la production animale par région varie très sensiblement et la surface de pâture ne varie pas. La substitution entre les calories de concentrés et cette surface de pâture est supposée fixe, alors qu'on peut penser qu'elle est en réalité variable lorsque la surface de pâture devient très faible et la production animale est très élevée, ou l'inverse.

- Les valorisations autres qu'alimentaires
- Les besoins en semences
- Les pertes

Les besoins en calories végétales pour l'alimentation animale ne sont pas fixés.

Calories animales

Les besoins en calories animales sont fixés par hypothèse (disponibilité alimentaire et autres usages).

Etape 2 : Equilibrage des bilans régionaux par les échanges

Trois cas peuvent se produire :

- (i) la production végétale de la région ne couvre pas les besoins de l'alimentation humaine en calories végétales.
Dans ce cas, la région importe les calories végétales correspondant aux besoins humains (tous usages sauf alimentation animale). Sa production animale est calculée par les fonctions de production en utilisant les pâtures (fixées par hypothèse dans le scénario) mais pas d'autres calories végétales. Elle importe les calories animales qu'il lui manque pour satisfaire ses besoins;
- (ii) la production végétale régionale couvre les besoins humains en calories végétales mais pas les besoins en alimentation animale (une fois les usages humains satisfaits, la production animale calculée en utilisant toutes les calories végétales restantes est inférieure aux besoins de la région)
La région importe alors les calories animales nécessaires pour couvrir ses besoins.
- (iii) la production végétale régionale suffit pour couvrir les besoins humains en calories végétales et les besoins de l'alimentation animale (une fois les usages humains satisfaits, la production animale qui utiliserait toutes les calories végétales restantes serait supérieure aux besoins de la région)
La région exporte alors (à part égale de toutes les régions dans ce cas) les calories végétales nécessaires pour satisfaire les besoins des régions importatrices de calories végétales et utilise tout le reste pour sa production animale (que l'on recalcule alors). L'excédent de production animale est exportable.

Etape 3 : Equilibre global

Le solde mondial des échanges permet de vérifier si le total des emplois est compatible avec le total des ressources. Si les besoins et les ressources de chaque région sont équilibrés, cela conduit à un bilan global équilibré, et les hypothèses quantitatives du scénario sont cohérentes. Dans le cas contraire, le solde mondial peut être interprété par le groupe (le scénario est excédentaire ou déficitaire).

II.3.4 Le bilan mondial ressources – emplois du scénario Agrimonde 1

Le tableau 15 ci-dessous récapitule les principales hypothèses quantitatives en 2050 de ce scénario. Ces hypothèses sont les mêmes dans les deux variantes, qui ne diffèrent que par les règles de bouclage, c'est-à-dire la nature de ce qui est échangé (calories animales ou calories végétales de l'alimentation animale), et le lieu de transformation des calories végétales en calories animales. L'ensemble des hypothèses quantitatives et des résultats quantitatifs sont rassemblées en annexe 12, ainsi que les valeurs des variables correspondantes en 1961 et 2003. Les rendements retenus dans le calcul des ressources régionales de biomasse végétale du scénario Agrimonde 1 correspondent à l'hypothèse basse de rendement. Ces hypothèses de rendement ont été décidées par le groupe d'appui (voir la section II.2.2.2) puis ajustées à la marge (- 5% d'ajustement en Ex-URSS, Afrique du Nord – Moyen Orient, Afrique subsaharienne et Amérique latine) afin de parvenir exactement à l'équilibre mondial dans cette variante 1 (Ressources – Emplois = 0).

Tableau 15 : synthèse des hypothèses du scénario Agrimonde 1

	Population (en millions)	Disponibilités totales (kcal/j/hab)	Surfaces cultivées – hors pâtures (en millions d'hectares)	Pâtures (en millions d'hectares)	Rendements
Afrique du Nord – Moyen Orient	631	3000	89,8	321	14 500
Afrique subsaharienne	1 661	3000	300	692	11 750
Amérique latine	773	3000	250	445	23 500
Asie	4 442	3000	540	512	25 100
Ex-URSS	239	3000	300	301	14 500
OCDE-1990	1 066	3000	400	576	22 600

▪ **Les résultats du bilan emplois-ressources du scénario Agrimonde 1 : variante 1**

Le tableau 16 de synthèse ci-dessous présente les productions, usages et le solde des échanges pour chaque région ainsi que le bilan mondial. Le solde mondial nul montre que les hypothèses de consommation, de rendements (hypothèse basse) et de superficies cultivées du scénario Agrimonde 1, ainsi que les règles de bouclage retenues dans cette variante, permettent d'équilibrer les besoins et les ressources à l'échelle mondiale.

Par construction, les soldes des ressources et emplois de calories animales sont nuls dans toutes les régions (chaque région produit la biomasse animale correspondant à ses besoins, soit en utilisant des productions végétales, soit en important des calories végétales destinées à l'alimentation animale). Les soldes portent donc uniquement sur les calories végétales et incluent les besoins d'importation pour couvrir tous les besoins (humains et animaux). La production mondiale de calories végétales dans ce scénario est en progression de près de 30% par rapport à 2003 tandis que le monde produit 20% de calories animales supplémentaires.

Il ressort du bilan alimentaire global que certaines régions ne sont pas en mesure de couvrir, grâce à leurs ressources propres en biomasse, leurs besoins en calories pour nourrir leur population. Il s'agit, par ordre décroissant de déficit, de : l'Afrique subsaharienne, l'Asie et l'Afrique du Nord – Moyen Orient. Les importations nettes cumulées de ces trois régions sont de 9415 Gkcal/jour de calories végétales. Parmi ces trois régions, deux, l'Afrique subsaharienne et l'Afrique du Nord - Moyen Orient, ne disposent pas suffisamment de calories végétales pour satisfaire les besoins humains en calories végétales. Une partie de leurs importations (16% et 12% respectivement) est destinée à l'alimentation humaine directe. Le reste des importations est utilisée pour l'alimentation animale. Les ressources en produits végétaux en Asie sont suffisantes pour couvrir les besoins en alimentation humaine directe et une partie de l'alimentation animale. Cependant, cette région doit importer pour combler le manque d'alimentation animale lui permettant de satisfaire ses besoins en calories animales.

D'autres régions sont au contraire excédentaires et peuvent exporter une partie de leurs calories végétales vers les pays déficitaires. Par ordre décroissant des surplus, il s'agit des régions suivantes : OCDE-1990, Ex-URSS et Amérique latine.

Tableau 16 : Synthèse du bilan ressources – emplois pour le scénario Agrimonde 1

		Productions régionales en Gkcal/j	Emplois régionaux à satisfaire en Gkcal/j	Soldes régionaux en Gkcal/j
Afrique du Nord – Moyen Orient	Végétaux	1 302	3 549	-2 247
	Animaux	335	335	0
Afrique subsaharienne	Végétaux	3 525	7 515	-3 990
	Animaux	852	852	0
Amérique latine	Végétaux	5 875	3 977	1 898
	Animaux	431	431	0
Asie	Végétaux	13 554	16 732	-3 178
	Animaux	1 918	1 918	0
Ex-URSS	Végétaux	4 350	1 017	3 333
	Animaux	106	106	0
OCDE-1990	Végétaux	9 040	4 856	4 184
	Animaux	632	632	0
		Productions mondiales en Gkcal/j	Emplois mondiaux en Gkcal/j	Solde mondial en Gkcal/j
Monde	Végétaux	37 646	37 646	0
	Animaux	4 274	4 274	0

▪ **Les résultats du bilan ressources – emplois du scénario Agrimonde 1, variante 2**

Dans cette variante, le solde comporte des calories végétales (correspondant à la couverture des besoins humains) et des calories animales correspondant à la couverture des besoins humains également.

Alors que les hypothèses quantitatives sont exactement les mêmes, le solde mondial est négatif. Il est possible d'équilibrer le solde mondial en travaillant sur les hypothèses quantitatives (par exemple les rendements), mais il est également possible de travailler à hypothèses quantitatives inchangées et de constater (et interpréter) l'effet du mode d'équilibrage sur le bilan global et les soldes régionaux.

La production végétale de chaque région est la même que dans la variante 1, les usages humains sont les mêmes, mais comme les régions déficitaires en calories animales importent ces calories animales, la transformation des calories végétales en calories animales n'a pas lieu dans les mêmes régions que dans la variante 1. Comme les modes de production animale sont différents d'une région à l'autre et comme la transformation des calories végétales en calories animales est différente d'une région à l'autre, le solde global est modifié (négatif ici).

Dans le cadre de ce scénario Agrimonde 1, la variante 2 apparaît moins économe en ressources végétales que la variante 1¹⁰⁴. La comparaison des deux variantes peut avoir des conséquences en termes de choix de lieu de production au niveau mondial : l'équilibre alimentaire mondial peut en effet dépendre des lieux choisis pour accueillir certaines productions.

Dans cette variante, les trois mêmes régions se retrouvent déficitaires (cf. tableau 17) : Afrique subsaharienne, Asie et Afrique du Nord – Moyen Orient. Pour que les manques de ces régions soient comblés par les surplus des régions excédentaires (Amérique latine, Ex-URSS et OCDE-1990), il faudrait accroître la production mondiale de 754 Gkcal/jour de calories animales.

Avec cette variante, les hypothèses basses utilisées dans le scénario Agrimonde 1 pour les rendements ne conduisent pas de manière sûre à un équilibre mondial : elles constituent donc des hypothèses minimales de croissance des rendements, qui ne sont cohérentes avec le scénario que si elles sont accompagnées de conditions spécifiques concernant les systèmes d'élevage.

Néanmoins, les résultats (régionaux et global) entre les deux variantes ne diffèrent qu'à la marge, et étant donné l'objectif de ces bilans globaux, on peut retenir que dans les deux variantes, les ordres

¹⁰⁴ A ce stade, ce résultat ne saurait être extrapolé au-delà de ce scénario et des fonctions de production utilisées.

de grandeur des hypothèses d'emplois sont compatibles avec les ordres de grandeurs des hypothèses de ressources formulées dans le scénario Agrimonde 1.

Tableau 17 : Synthèse du bilan ressources – emplois pour le scénario Agrimonde 1, variante 2

		Productions régionales en Gkcal/j	Emplois régionaux à satisfaire en Gkcal/j	Soldes régionaux en Gkcal/j
Afrique du Nord – Moyen Orient	Végétaux	1 302	1 752	-450
	Animaux	24	336	-311
Afrique subsaharienne	Végétaux	3 525	4 426	-901
	Animaux	22	851	-829
Amérique latine	Végétaux	5 875	5 425	450
	Animaux	777	431	346
Asie	Végétaux	13 554	13 554	0
	Animaux	481	1918	-1 437
Ex-URSS	Végétaux	4 350	3 900	450
	Animaux	689	106	584
OCDE-1990	Végétaux	9 040	8 590	450
	Animaux	1 525	631	893
		Productions mondiales en Gkcal/j	Emplois mondiaux en Gkcal/j	Solde mondial en Gkcal/j
Monde	Végétaux	37 646	37 646	0
	Animaux	3 519	4273	-754

II.3.5 Le bilan mondial ressources – emplois du scénario Agrimonde GO

▪ Les hypothèses du scénario Agrimonde GO

Le scénario Agrimonde 1 repose sur des hypothèses en rupture avec les tendances passées. Le groupe de travail a construit un autre scénario, plus tendanciel, dans le but de comparer le scénario Agrimonde 1 à des hypothèses moins marquées par des ruptures. Le scénario *Global Orchestration* du MEA correspond à ces caractéristiques avec comme hypothèse forte la capacité du progrès technologique à conduire à des hausses importantes de rendements. Le groupe de travail a choisi de se fonder sur *Global Orchestration* pour élaborer un deuxième scénario : Agrimonde GO.

Les hypothèses du scénario Agrimonde GO

Les hypothèses de ce deuxième scénario sont en grande partie tirées de *Global Orchestration* (cf. tableau 18). Seule l'hypothèse concernant les populations n'est pas celle envisagée par le MEA pour le scénario *Global Orchestration*. En effet, pour réellement confronter le scénario Agrimonde 1 à un autre scénario, il a semblé important au groupe de travail de faire les mêmes hypothèses de 'pression démographique' dans les deux scénarios. Le scénario de comparaison est donc appelé dans la suite Agrimonde GO plutôt que GO.

Les hypothèses sur les surfaces (cultivées et pâtures) sont tirées de celles de *Global Orchestration*¹⁰⁵. Les accroissements de surface sont donc plus faibles que dans le scénario Agrimonde 1. Concernant les rendements, les seules hypothèses disponibles dans le MEA sont celles relatives aux céréales, distinguées par régions. Le groupe de travail a décidé d'appliquer le même taux de croissance des rendements à la variable « rendements toutes productions confondues » même si il est bien conscient que ces hypothèses deviennent alors très optimistes

¹⁰⁵ Les surfaces de base 2003 fournies par la FAO et celles trouvées dans le MEA ne sont pas identiques dans la répartition de leurs usages (cf. annexe 14). Nous avons corrigé les surfaces du MEA afin de les rendre comparables à celles de la FAO. Les surfaces proposées en 2050 pour les scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1 sont donc comparables et tiennent compte de l'évolution envisagée par le MEA dans le scénario GO.

pour toutes les régions du monde et, en l'occurrence, bien plus élevées que celles retenues dans le scénario Agrimonde 1.

Les disponibilités alimentaires totales par région sont connues dans les scénarios du MEA. Ces hypothèses sont bien supérieures à celles du scénario Agrimonde 1, sauf pour l'Afrique subsaharienne qui n'atteint pas les 3000 kcal/j/hab. envisagées dans Agrimonde 1. Pour la répartition de cet apport total selon les différentes catégories du régime alimentaire, la déclinaison en calories végétales, de ruminants, de monogastriques a fait l'objet d'extrapolations à partir des données de kilogrammes de viande (ruminants et monogastriques) et de céréales disponibles dans les scénarios (et en appliquant aux autres productions animales que la viande le même taux de progression que celui retenu pour la viande). Il en ressort que les disponibilités en viande sont beaucoup plus élevées que dans le scénario Agrimonde 1, sauf en Afrique subsaharienne et en Afrique du Nord – Moyen Orient où les disponibilités sont plus faibles.

Enfin, les pertes entre la production et la mise à disposition du consommateur, les valorisations autres qu'alimentaires et les semences sont, en proportion, les mêmes en 2000 et en 2050.

Tableau 18 : synthèse des hypothèses du scénario Agrimonde GO

	Population (en millions)	Disponibilités totales (kcal/j/hab.)	Surfaces cultivées – hors pâtures, (en millions) d'hectares)	Pâtures (en millions) d'hectares)	Rendements (en Gkcal/j)
Afrique du Nord - Moyen Orient	631	3458	92,9	318	21 631
Afrique subsaharienne	1 661	2972	263	1205	23 133
Amérique latine	773	3698	219	545	36 493
Asie	4 442	3702	476	726	46 416
Ex-URSS	239	3457	187	208	12 824
OCDE-1990	1 066	4099	401	595	33 507

▪ **Les résultats du bilan ressources – emplois du scénario Agrimonde GO, variante 1**

Dans la variante 1, trois régions ne produisent pas de suffisamment de calories végétales pour combler leurs besoins en alimentation (cf. tableau 19) : l'Afrique du Nord – Moyen Orient est celle qui couvre le moins, par ses ressources, ses besoins, suivie l'Afrique subsaharienne et de l'Asie. Trois régions disposent de surplus, et sont par ordre décroissant des surplus : l'OCDE-1990, l'Amérique latine et l'Ex-URSS.

Pratiquement toutes les régions sont capables de produire suffisamment pour satisfaire les besoins en calories végétales destinées à l'alimentation humaine. Seule l'Afrique du Nord – Moyen Orient ne peut couvrir ses besoins pour l'alimentation humaine directe, compte tenu des pertes et du renouvellement des semences. Par contre ces trois régions sont obligées d'importer pour nourrir leurs animaux.

Ainsi, si les besoins mondiaux en calories végétales élevés (+ 33% en moyenne mondiale par rapport à Agrimonde 1) sont satisfaits, ces hypothèses de disponibilités demandent en contrepartie une hypothèse de forte hausse des rendements. Les rendements de la région Afrique du Nord - Moyen Orient sont en effet multipliés par 1,66 par rapport aux chiffres de 2000 et par 1,4 par rapport aux chiffres du scénario Agrimonde 1. L'augmentation des rendements est encore plus forte en Afrique subsaharienne (multiplication par 2,5 par rapport à 2000 et par 2 par rapport à Agrimonde 1) avec toutefois des hypothèses de progression plus faible des surfaces cultivées (voir annexe 12).

**Tableau 19 : Synthèse du bilan ressources – emplois
pour le scénario Agrimonde GO**

		Productions régionales en Gkcal/j	Emplois régionaux à satisfaire en Gkcal/j	Soldes régionaux en Gkcal/j
Afrique du Nord – Moyen Orient	Végétaux	1 985	4 176	-2 190
	Animaux	335	335	0
Afrique subsaharienne	Végétaux	6 084	7 378	-1 294
	Animaux	528	528	0
Amérique latine	Végétaux	7 992	5 930	2 062
	Animaux	834	835	0
Asie	Végétaux	22 094	23 009	-915
	Animaux	4 189	4 188	0
Ex-URSS	Végétaux	2 398	2 118	280
	Animaux	363	363	0
OCDE-1990	Végétaux	13 436	10 939	2 497
	Animaux	2 158	2 159	0
		Productions mondiales en Gkcal/j	Emplois mondiaux en Gkcal/j	Solde mondial en Gkcal/j
Monde	Végétaux	53 990	53 551	440
	Animaux	8 407	8 408	0

**Tableau 20 : synthèse du bilan ressources – emplois
pour le scénario Agrimonde GO, variante 2**

		Productions régionales en Gkcal/j	Emplois régionaux avant échanges en Gkcal/j	Soldes régionaux en Gkcal/j
Afrique du Nord – Moyen Orient	Végétaux	1 985	2 223	-238
	Animaux	25	335	-309
Afrique subsaharienne	Végétaux	6 084	6 084	0
	Animaux	219	528	-309
Amérique latine	Végétaux	7 992	7 913	79
	Animaux	1 301	836	466
Asie	Végétaux	22 094	22 094	0
	Animaux	3 780	4 192	-412
Ex-URSS	Végétaux	2 398	2 319	79
	Animaux	403	363	40
OCDE-1990	Végétaux	13 436	13 357	79
	Animaux	2 738	2 154	584
		Productions mondiales en Gkcal/j	Emplois mondiaux en Gkcal/j	Solde mondial en Gkcal/j
Monde	Végétaux	53 990	53 990	0
	Animaux	8 466	8 407	60

▪ **Les résultats du bilan ressources - emplois du scénario Agrimonde GO, variante 2**

Dans cette variante 2 de bouclage, les conclusions ne sont pas sensiblement modifiées. Les trois mêmes régions sont déficitaires à l'issue de cet équilibre ressources – emploi (cf. tableau 20). Les manques de ces pays sont comblés par les surplus des pays excédentaires (Amérique latine, Ex-URSS et OCDE-1990).

Le surplus, positif, est cette fois exprimé en calories animales. Pour pouvoir comparer avec le solde de la variante 1, il faut convertir ces calories animales en calories végétales ayant servi à l'alimentation des animaux. En utilisant par exemple la fonction de production de l'OCDE-1990, le

solde mondial de 60 Gkcal/j./hab (animales) correspond à 230 Gkcal/j¹⁰⁶ (végétales) ce qui est sensiblement inférieur aux 440 Gkcal/j du solde mondial de la variante 1.

La comparaison des résultats des deux variantes du scénario Agrimonde GO est analogue à celle du scénario Agrimonde 1 : dans les deux scénarios, il apparaît globalement plus économe en ressources végétales de produire les calories animales des pays déficitaires dans ces pays (en échangeant des calories végétales) que de produire les calories animales des pays déficitaires dans les pays excédentaires (en échangeant ces calories animales). Ce résultat doit être rattaché aux hypothèses quantitatives choisies et aux fonctions de production utilisées.

II.3.6 Conclusion

La mise en rapport des deux scénarios (par exemple avec le bouclage par la variante 1), illustre deux modes d'évolution très contrastés de l'agriculture et de l'alimentation, dans lesquels les ressources et les emplois envisagés sont pourtant compatibles entre eux dans chacune de ces évolutions.

Du point de vue du bilan global, le scénario Agrimonde 1 est un scénario d'accroissement modéré de la production (28% de production végétale et 20% de production animale en plus par rapport à 2003), alors que l'accroissement de la population mondiale est de 42%. Malgré cela, la disponibilité alimentaire moyenne s'accroît dans les régions où elle est insuffisante (i.e. inférieure à la disponibilité individuelle ciblée dans ce scénario) : l'Asie et l'Afrique subsaharienne. Les transformations proposées dans ce scénario reposent donc non seulement sur des modifications de productions mais aussi sur une redistribution des régions de consommation.

Le scénario Agrimonde GO est un scénario d'accroissement important de la production (84% de production végétale en plus et 137% de production animale en plus par rapport à 2003). Fondé sur un accroissement notable des rendements y compris dans les régions de production intensive, il apporte un niveau de disponibilité moyenne supérieur ou égal à celui du scénario Agrimonde 1 dans chaque région, sauf en Afrique subsaharienne.

Tableau 21 : Comparaison des emplois de calories dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO

		Emplois régionaux 2003 en Gkcal/j	Emplois régionaux 2050 AG1 (variante 1) en Gkcal/j	Emplois régionaux 2050 AG0 (variante 1) en Gkcal/j
Afrique du Nord – Moyen Orient	Végétaux	1 985	3 549	4 176
	Animaux	153	335	335
Afrique subsaharienne	Végétaux	2 191	7 515	7 378
	Animaux	108	852	528
Amérique latine	Végétaux	3 109	3 977	5 930
	Animaux	394	431	835
Asie	Végétaux	11 807	16 732	23 009
	Animaux	1 230	1 918	4 188
Ex-URSS	Végétaux	1 580	1 017	2 118
	Animaux	220	106	363
OCDE-1990	Végétaux	8 669	4 856	10 939
	Animaux	1 437	632	2 159
		Emplois mondiaux en Gkcal/j	Emplois mondiaux en Gkcal/j	Emplois mondiaux en Gkcal/j
Monde	Végétaux	29 341	37 646	53 551
	Animaux	3 543	4 274	8 408

¹⁰⁶ Ce chiffre correspond à l'alimentation animale nécessaire dans la région OCDE 1990 pour produire 60 Gkcal/j de produits animaux.

II.4 Agrimonde 1 et Agrimonde GO : confrontation, cohérence, facteurs d'évolution

Jean-Marc Chaumet, Sandrine Paillard, Tévécia Ronzon

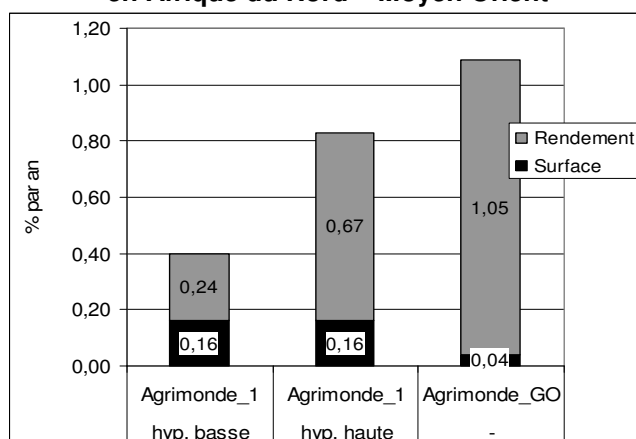
Dans cette partie, il s'agit de questionner le scénario quantitatif construit pour à la fois préciser les dimensions qualitatives du scénario, laissées ouvertes par la quantification, et tirer les enseignements de notre construction prospective. Dans un premier temps, il s'agit de confronter le scénario Agrimonde 1 à un test de cohérence interne et de tirer les enseignements de sa confrontation avec le scénario Agrimonde GO au niveau régional puis au niveau global. L'objectif est de vérifier si, au niveau de chaque région et au niveau global, les hypothèses quantitatives pour les différentes variables, construites indépendamment les unes des autres, permettent bien de construire un scénario quantitatif réellement cohérent, c'est-à-dire compatible avec les principes de construction du scénario fixés au départ et notamment le principe de durabilité. La confrontation au scénario Agrimonde GO permet en outre de comparer deux 'stratégies' très différentes, permettant toutes les deux (théoriquement) un équilibre ressources-emplois au niveau mondial, comme il a été montré dans la partie II.3. Il s'agit ici de mener une réflexion sur 2050 sans s'intéresser aux défis que représente le scénario Agrimonde 1 en termes de trajectoire. Dans un deuxième temps, il s'agit au contraire de se concentrer sur les conditions et les leviers qui permettraient d'atteindre le monde de 2050 décrit dans Agrimonde 1 dans chaque région et au niveau global.

Dans cette section, et dans la suite du document, les chiffres de soldes ressources-emplois cités se réfèrent aux résultats de l'équilibrage mondial selon la variante 1. Pour faciliter la lecture, et parce que nous attachons plus d'importance aux ordres de grandeur des équilibres qu'aux résultats précis de ces deux variantes, nous ne commentons pas les résultats de la variante 2. De plus, les bilans ayant été réalisés sur la base des hypothèses basses de rendement, nous nous y référons préférentiellement dans les tests de cohérence, plutôt qu'à l'hypothèse haute.

II.4.1 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Afrique du Nord - Moyen Orient

En Afrique du Nord – Moyen Orient, la population a été multipliée par 1,8 entre 2000 et 2050. Dans le même temps, la demande en calories par habitant s'est réduite de 10% dans le scénario Agrimonde 1 et s'est à peu près maintenue dans le scénario Agrimonde GO (+ 3%). La demande totale en calories a atteint 2 337 Gkcal/jour dans le premier scénario et 2 693 Gkcal/jour dans le deuxième, la décomposition du régime alimentaire étant sensiblement la même dans les deux scénarios.

Graphique 17 : Gains de surfaces cultivées alimentaires et de rendements dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO entre 2000 et 2050 en Afrique du Nord – Moyen Orient



La rareté de la ressource en eau dans la région s'est trouvée accentuée du fait du réchauffement climatique et a limité les possibilités d'accroissement de la production dans Agrimonde 1, alors même que la demande en calories a augmenté. Les surfaces cultivées n'ont que très peu évolué (+ 7 millions d'hectares, soit + 9%) et occupent en 2050 tout le potentiel cultivable de la région. Les surfaces en pâture ont à peine diminué (- 6 millions d'hectares) et les rendements des cultures végétales n'ont gagné que 13 % en 50 ans dans l'hypothèse basse (+ 0,24% par an). Dans le scénario Agrimonde GO, les surfaces cultivées sont restées aussi assez stables (+ 2 millions d'hectares), mais les pâtures ont progressé de 68 millions d'hectares et

les rendements des cultures végétales ont progressé de 66 % (soit + 1,05% par an, cf. graphique 17).

Au bilan, la stratégie adoptée dans le scénario Agrimonde 1 ne permet pas à l'Afrique du Nord et au Moyen Orient de couvrir la demande régionale en calories. Il y manque environ 2 250 Gkcal/j tandis que dans le scénario Agrimonde GO, il manque environ 2 200 Gkcal/j. La demande en calories végétales pour la consommation humaine peut être couverte mais les ressources régionales ne suffisent pas à alimenter l'ensemble du cheptel.

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en Afrique du Nord - Moyen Orient?

Les bilans ressources-emplois nous invitent à nous interroger sur la cohérence du scénario Agrimonde 1. En particulier, pour cette région, qui en 2050 ne pourra probablement plus compter sur les revenus tirés des énergies fossiles, on peut se demander quels secteurs de l'économie seront en mesure d'assurer la solvabilité de la demande alimentaire envisagée dans le scénario Agrimonde 1, si le secteur agricole est fortement limité dans son développement. Par ailleurs, est-t-il réellement possible de maintenir les surfaces agricoles dans un contexte de saturation du potentiel cultivable conjugué à une urbanisation croissante¹⁰⁷ ?

Dans le scénario Agrimonde 1, le secteur agricole est limité dans son développement faute de terres potentiellement cultivables et pour cause de contraintes environnementales, notamment hydriques, qui ont largement freiné les possibilités de progression des rendements. Par rapport au scénario Agrimonde GO, où les rendements ont considérablement augmenté et ont permis des gains de revenus agricoles, le secteur agricole, dans Agrimonde 1, risque de ne pas pouvoir employer une population rurale en forte croissance. Et compte tenu de l'ampleur de la croissance démographique attendue en Afrique du Nord – Moyen Orient, une très grande partie de la population rurale pourrait migrer vers les villes. Notre scénario est alors confronté à un problème essentiel de cohérence puisque la limitation des terres cultivables risque de se traduire par une accélération de l'artificialisation des terres agricoles¹⁰⁸, conduisant à un cercle vicieux ne permettant pas de maintenir des surfaces agricoles¹⁰⁹. Aussi, les inégalités des conditions de vies entre la population urbaine et la population agricole pourraient s'accroître dangereusement et constituer un autre problème de cohérence de ce scénario. Ainsi, la durabilité du scénario Agrimonde 1 repose beaucoup sur les opportunités de création de richesses dans les zones rurales, grâce à des productions agricoles à haute valeur ajoutée, mais aussi dans la transformation des produits, le tourisme, etc.

Les problèmes et les questions soulevées par le scénario Agrimonde GO ne paraissent pas notablement différents, même s'ils sont moins aigus grâce à l'hypothèse de plus forte croissance des rendements. Cette hypothèse est relativement forte puisqu'elle suppose qu'on aura réussi à surmonter les impacts du changement climatique dans cette région (variabilité accrue des précipitations, par exemple), et que les augmentations de rendements peuvent se faire sans accroître la vulnérabilité des agro-écosystèmes, en particulier du fait de leur dépendance aux intrants (régularité des apports et efficacité des matières actives). De plus, l'accroissement des rendements envisagé dans Agrimonde GO risque de rendre la pression sur la ressource en eau encore plus forte, conduisant ainsi à l'émergence d'éventuels conflits d'usage de l'eau entre secteur domestique et agricole, cristallisés autour de l'approvisionnement des villes en eau potable. Dans les deux cas, les scénarios agricoles pour cette région sont sous très forte contrainte.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en Afrique du Nord - Moyen Orient dans Agrimonde 1 ?

Trois principaux défis caractérisent le scénario Agrimonde 1 dans cette région : la gestion de l'eau, le développement de l'emploi rural et la réduction des inégalités d'accès à l'alimentation.

¹⁰⁷ D'après le rapport Méditerranée, la population urbaine au Sud de la Méditerranée est passée de 108 millions d'habitants en 1990 à 140 millions d'habitants en 2000. Elle est estimée à 214 millions d'habitants pour 2020 [CIHEAM, 2008].

¹⁰⁸ A titre indicatif, dans le Maghreb, l'espacement moyen des agglomérations est passé de 66 km à 21 km entre 1950 et 1995 dans la zone littorale et de 66 km à 32 km dans la zone intérieure [CIHEAM, 2008].

¹⁰⁹ A ce titre, Méditerranée propose pour « sécuriser le paysage foncier » : (i) un suivi dynamique des évolutions foncières (surface et qualité des terres agricoles et arables), (ii) de renforcer le caractère opérationnel des appareils juridiques capables de démarquer clairement les terres agricoles du foncier constructible, (iii) de promouvoir la contractualisation des baux ruraux [CIHEAM, 2008].

Dans le scénario Agrimonde 1, entre 2000 et 2050, le secteur agricole a été confronté au défi d'améliorer à la fois la valeur ajoutée et le rendement des cultures - de 20% au minimum par rapport à 2000 - en condition de stress hydrique accentué par les effets du changement climatique. La question de l'eau et des modèles de production agricole en condition de stress hydrique a donc été, dans ce scénario, un axe prioritaire de la recherche. Cela s'est traduit par des percées scientifiques et techniques dans les domaines des techniques d'irrigation, de la sélection génétique, des pratiques agricoles qui, dans cette région comme dans beaucoup d'autres, se sont beaucoup axées sur une meilleure infiltration de l'eau et des assolements moins exigeants en eau. Parallèlement, dans ce scénario, les politiques de gestion de la ressource en eau ont dû être renforcées de façon déterminante ; elles ont permis de rationaliser l'allocation de la ressource entre ses différents usages, ainsi qu'une meilleure valorisation de cette ressource.

Dans le scénario de M. Griffon, le gain de rendement des cultures escompté est réalisable par les techniques de l'intensification écologique (+0,59% par an) et se situe entre la fourchette basse d'Agrimonde 1 et Agrimonde GO. L'auteur retient surtout comme essentiel d'améliorer l'efficacité de l'eau d'irrigation, de privilégier les techniques de conservation de l'eau dans le sol et la couverture du sol par des plantes légumineuses notamment, ainsi que l'association céréaliculture-élevage (ley farming¹¹⁰ en particulier). Il estime inévitable que les périmètres irrigués soient de plus en plus consacrés aux cultures maraîchères et éventuellement à la production de ressources fourragères pour des élevages intensifs. Pour cette région, l'exercice de prospective Méditerranée [CIHEAM, 2008] propose des pistes complémentaires pour optimiser la gestion des ressources hydriques (cf. encadré 12). La possibilité de commerce d'eau virtuelle qui y est mentionné souligne que l'optimisation de la gestion de l'eau passe également par une réflexion sur les échanges de produits alimentaires et sur les choix de politiques agricoles.

Encadré 12 : Propositions techniques pour optimiser la gestion des ressources hydriques du rapport *Méditerranée* [CIHEAM, 2008]

Du côté des politiques de gestion de l'offre, des opportunités de développement résident dans :

- le dessalement de l'eau de mer pour les pays dont les ressources financières le permettent,
- les progrès en matière de réutilisation des eaux usées urbaines pour l'irrigation agricole.

Les politiques de gestion de la demande devront favoriser :

- les économies d'eau (notamment par des voies techniques comme l'irrigation de précision et l'amélioration du réseau d'adduction d'eau),
- des arbitrages politiques entre les usages en fonction du rapport coûts-avantages et des externalités positives,
- des innovations tarifaires (tarification par paliers).

Enfin, la nouvelle politique hydraulique doit être accompagnée par des changements juridiques et institutionnels :

- amendement des réglementations actuelles,
- mise en place d'une unité de gestion de l'eau au niveau du bassin versant ou de la nappe, avec le soutien des usagers de l'eau,
- recours au commerce d'eau virtuelle.

Entre 2000 et 2050, dans le scénario Agrimonde 1, la population rurale a largement augmenté et elle a dû, en grande partie, réussir à s'employer dans les territoires ruraux. L'exode rural a en conséquence été contenu. Ceci suppose que la région aura su rééquilibrer les dynamiques de développement entre zone littorale et arrière-pays qui opposaient au début XXI^{ème} siècle un littoral urbain concentrant les richesses et branché sur le marché international et un arrière-pays agricole pauvre et peu compétitif. Pour faire face aux problèmes sociaux, économiques et environnementaux associés à une urbanisation difficile à maîtriser, les politiques d'aménagement du territoire dans beaucoup de pays de cette région ont cherché à maintenir ou à susciter un dynamisme économique des campagnes en soutenant les activités agricoles et agro-alimentaires mais aussi d'autres

¹¹⁰ ley farming : technologie développée en Australie, basée sur un travail superficiel du sol et une rotation céréale/luzerne et qui permet une meilleure intégration céréales-élevage [Lahmar, 2006].

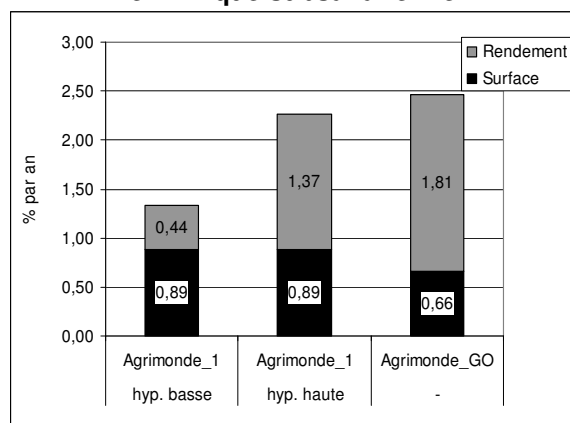
activités de services, notamment dans le secteur du tourisme dans certains territoires. La relocalisation des systèmes alimentaires aura présenté ici une des voies d'intégration des petites agricultures au marché local et donc de développement de la demande solvable en milieu rural.

Enfin, la transformation des régimes alimentaires est une dernière inflexion majeure supposée pour la région Afrique du Nord – Moyen Orient dans Agrimonde 1. En moyenne, entre 2000 et 2050, la consommation alimentaire par habitant est passée de 3 339 kcal à 3 000 kcal dans cette région. Certes, des politiques nutritionnelles ont été mises en œuvre de façon efficace pour enrayer l'épidémie d'obésité¹¹¹ (elles ont surtout visé la réduction de la consommation de graisses saturées et de sucres). Surtout, la réduction des inégalités de revenus et donc d'accès à l'alimentation a été un objectif majeur des politiques sociales et économiques ; elles ont été complémentaires des politiques d'aménagement du territoire puisqu'elles se sont centrées sur l'amélioration des conditions de vie dans les zones rurales.

II.4.2 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Afrique subsaharienne

Dans le scénario Agrimonde 1, la région Afrique subsaharienne a vu sa population multipliée par 2,5 entre 2000 et 2050 tandis que la consommation de calories par habitant a augmenté de 20%. A cet égard, la situation dans Agrimonde GO est très proche, si ce n'est que la part des produits animaux dans le régime alimentaire de cette région est supérieure dans Agrimonde 1. La demande régionale en calories est donc pratiquement identique dans les deux scénarios (4983 Gkcal/j dans Agrimonde 1 et 4936 Gkcal/j dans Agrimonde GO).

Graphique 18 :
Gains de surfaces cultivées alimentaires et de rendements dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO entre 2000 et 2050 en Afrique subsaharienne



Face à ces fortes augmentations des besoins, le scénario Agrimonde 1 table plutôt sur une augmentation importante des surfaces que sur des progrès majeurs en termes de rendements tandis qu'Agrimonde GO envisage une forte hausse des rendements et une augmentation des terres cultivées légèrement inférieure à celle d'Agrimonde 1 (environ 100 millions d'hectares supplémentaires en cultures alimentaires en 2050 par rapport à 2000 dans Agrimonde 1 contre environ 70 millions d'hectares supplémentaires dans Agrimonde GO).

La relative faiblesse d'augmentation des rendements dans Agrimonde 1 (+0,44% par an dans l'hypothèse basse) par rapport notamment à Agrimonde GO (+1,81% par an, cf. graphique 18) et aux tendances passées (+1,63% par an entre 1961 et 2000) tient, d'une part, à la prise en compte des impacts potentiels du changement climatique, notamment en Afrique de l'Ouest, qui selon certaines études

pourraient conduire à une baisse des rendements à technique inchangée, et d'autre part, à la faible intensité capitaliste des systèmes de production envisagés dans ce scénario pour cette région. Dans le même esprit, Michel Griffon retient une hypothèse de gain de rendement (+0,60% par an) de l'ordre de l'hypothèse basse retenue pour Agrimonde 1, ce qui le conduit à faire l'hypothèse d'une multiplication par 5 des surfaces cultivées pour réussir à équilibrer le bilan ressources - emplois régional de calories végétales pour l'alimentation humaine directe.

Au total les 'stratégies' envisagées dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO ne sont pas équivalentes puisque le bilan ressources – emplois est beaucoup plus favorable dans Agrimonde

¹¹¹ « Au Sud de la Méditerranée, les disponibilités alimentaires ont très fortement progressé au cours des quarante dernières années avec un gain moyen de 800 kcal/hab/j. » [CIHEAM, 2008].

GO que dans la fourchette basse de rendement d'Agrimonde 1 (il manque environ 1 300 Gkcal/j dans Agrimonde GO contre presque 4 000 dans Agrimonde 1).

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en Afrique subsaharienne ?

Les bilans ressources-emplois respectifs de ces deux scénarios nous invitent à nous interroger sur la cohérence du scénario Agrimonde 1. Ce dernier est-il vraiment un scénario de développement durable ? Deux principaux problèmes émergent à cet égard.

D'une part, dans un contexte où la population augmente considérablement alors que les gains de rendements sont plus limités, la croissance économique du secteur agricole risque de ne pas être suffisante pour être la base d'un développement économique global susceptible d'assurer la solvabilité de la demande alimentaire. En particulier, on peut craindre que le développement envisagé dans Agrimonde 1 ne bénéficie pas à une partie des ménages agricoles, qui se trouveront marginalisés¹¹², et ainsi particulièrement touchés par la pauvreté et les problèmes d'accès à l'alimentation. D'autre part, si le choix d'une progression modérée des rendements couplée à des techniques de production peu intensives en termes de mécanisation et d'intrants, permet d'envisager un scénario où l'impact de l'agriculture sur les écosystèmes cultivés est modéré, la forte conversion des terres de pâture et surtout de forêt en terres cultivées a un impact sans doute non négligeable sur les services écosystémiques rendus par ces espaces naturels et semi-naturels. En particulier, le maintien de la fertilité des sols dans le scénario Agrimonde 1 est un enjeu important, d'autant plus dans les espaces pris sur la forêt où l'interruption des anciens cycles des macro et micro-nutriments rend les sols très fragiles.

A cet égard, Agrimonde GO, qui envisage une nette accélération du rythme des progrès des rendements entre 2000 et 2050 par rapport à la période 1961-2000, table sur une conversion des terres, qui, si elle est moindre que celle d'Agrimonde 1, demeure importante. Elle concerne de plus essentiellement les forêts puisque la hausse de la consommation de produits animaux dans cette région se traduit dans ce scénario par une augmentation des surfaces en pâture. La déforestation est donc beaucoup plus marquée dans Agrimonde GO que dans Agrimonde 1. Ainsi, même une hypothèse très haute en matière de rendements ne permet pas réellement d'éviter un grignotage de la forêt en Afrique subsaharienne.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en Afrique subsaharienne dans Agrimonde 1 ?

Les problèmes soulevés par le test de cohérence du scénario Agrimonde 1 sont aussi les deux principaux défis à relever dans cette région. En effet, Agrimonde 1 suppose deux ruptures de tendance majeures par rapport à la période 1961-2000 :

1. le développement agricole, qui permet notamment une hausse de 20% de la consommation calorique moyenne par habitant en 50 ans,
2. la mise en culture accélérée des pâtures tandis que celle qui touche la forêt se ralentit.

Le développement est évidemment le premier défi à relever en Afrique subsaharienne dans le scénario Agrimonde 1 comme dans le scénario Agrimonde GO. Il pose des questions déjà maintes fois soulevées sur l'accès aux capitaux, aux techniques, aux terres, à la formation, aux marchés, sur le développement des infrastructures et l'évolution de la gouvernance dans cette région ou encore sur les régulations des échanges agricoles mondiaux. Le scénario Agrimonde 1 et sa confrontation au scénario Agrimonde GO permettent de préciser certains de ces questionnements.

Agrimonde 1 s'inspire de la « révolution doublement verte » imaginée par Michel Griffon en envisageant en Afrique subsaharienne des systèmes de production à faible intensité capitalistique. En n'optant pas, comme dans Agrimonde GO, pour des systèmes d'intensification reposant sur une mécanisation poussée et un apport important en intrants, Agrimonde 1 explore le développement de systèmes techniques limitant :

1. le besoin en capitaux,

¹¹² D'après le rapport sur le développement humain du PNUD de 2004, l'Afrique subsaharienne est la région la plus inégalitaire du monde. Son indice GINI est de 72,2 [Watkins et al., 2005]. Ce coefficient mesure le degré d'inégalité de la distribution des revenus dans une société donnée. Il varie de 0 (égalité parfaite) à 100 (inégalité totale : une personne concentre tout les revenus, les autres n'ont rien).

2. la dépendance vis-à-vis des énergies fossiles dont on suppose qu'elles vont se raréfier et se renchérir,
3. l'impact de l'agriculture sur les écosystèmes.

Selon Michel Griffon, les principaux leviers techniques de la « révolution doublement verte » dans cette région sont la mise en place de petits aménagements hydrauliques dans les zones sèches, une plus grande complémentarité des systèmes de culture et d'élevage dans les zones de savane et la mise en œuvre de pratiques d'agroforesterie sur le modèle des « jardins créoles »¹¹³ en zone forestière. Les gains de rendements sont en revanche, selon l'auteur, plus difficiles à réaliser sur les hautes terres qui connaissent actuellement une crise aiguë de leurs systèmes agraires¹¹⁴. Il considère que les systèmes techniques seront susceptibles d'améliorer les rendements de 0,60% par an d'ici à 2050, soit une hypothèse équivalente à la fourchette basse de rendement envisagée dans Agrimonde 1 (+0,54% par an). Ceci constitue un défi d'autant plus important que les systèmes de culture devront permettre de faire face à la fois à la faiblesse des disponibilités en eau dans certaines régions et à l'accentuation de la variabilité climatique.

Pourtant, comme nous l'avons souligné plus haut, l'augmentation de rendement envisagée dans la fourchette basse d'Agrimonde 1 risque de ne pas être suffisante pour permettre un développement suffisant. Pour qu'Agrimonde 1 soit un scénario de développement par l'agriculture en Afrique subsaharienne, il faut vraisemblablement envisager la fourchette haute pour les rendements (+1,33% par an). Même si cette hypothèse reste peu exigeante par rapport au scénario Agrimonde GO (+1,8% par an) ou même aux tendances passées (+1,63% par an entre 1961 et 2000), elle est bien supérieure à celle envisagée par Michel Griffon et questionne la possibilité de développer des technologies d'intensification écologiques permettant de doubler les rendements en Afrique subsaharienne d'ici à 2050.

Par ailleurs, les systèmes techniques de la « révolution doublement verte » ne sont aujourd'hui que partiellement disponibles alors que les systèmes d'intensification classique le sont et vraisemblablement en mesure d'apporter, comme l'imagine Agrimonde GO, des gains de rendements bien supérieurs à ceux envisagés dans Agrimonde 1, au moins au début de la période. Ainsi, si le développement de l'agriculture est la priorité en Afrique subsaharienne, ne faut-il pas envisager une trajectoire d'intensification en deux temps dans cette région ? Une première phase reposerait sur la diffusion des techniques d'intensification classique, qui permettrait un « décollage » agricole et serait suivie d'une seconde phase d'intensification écologique quand les techniques auront été développées et que les enjeux environnementaux se feront plus prégnants que les enjeux de développement. Le choix d'une telle trajectoire renvoie à ce qu'ont été les obstacles à la révolution verte ainsi qu'aux succès récents de développement agricole dans cette région, mais aussi à la question de l'irréversibilité des choix technologiques. En effet, le développement d'un système technique crée de fortes interdépendances entre technologies, infrastructures, formation, configurations d'acteurs... qui peuvent se traduire par un « lock-in » empêchant ou freinant les bifurcations technologiques même quand l'environnement marchand et les potentialités des nouvelles technologies rendent le « basculement » optimal sur le plan économique.

L'inflexion de tendance relative à la mise en culture de nouvelles terres est un deuxième défi du scénario Agrimonde 1 dans cette région. En effet, dans l'objectif de préserver autant que possible les ressources forestières, le groupe de travail a fait l'hypothèse que seulement 40% des nouvelles terres cultivées seraient pris sur des espaces forestiers, le reste étant pris sur les pâtures (ou savanes). En plus des 90 millions d'hectares de savanes convertis en terres agricoles, les usages de la savane pourraient être complexifiés par des pratiques d'agroforesterie à grande échelle, ce qui constituerait un élément important, tant en matière de production que d'emplois et de revenus ruraux. Cependant, le type d'organisations et de propriété foncière en place pourrait rendre difficile l'arrêt des fronts pionniers actuels sur les terres forestières de certaines zones d'Afrique de l'Ouest (Sud Mali, Ouest Burkina, Est Sénégal, Nigéria, Togo et Nord de la Côte d'Ivoire). La pression sur la forêt sera d'autant plus grande que celle-ci recèle la ressource hydrique et qu'avec les impacts du changement climatique, le potentiel cultivable pourrait se déplacer sur les zones forestières au détriment des zones de savanes pâturées. Le scénario Agrimonde 1 repose donc vraisemblablement sur la mise en place d'infrastructures écologiques pour la forêt équatoriale, ce qui pourrait permettre à la fois la mise en culture et le maintien d'une certaine biodiversité. Le

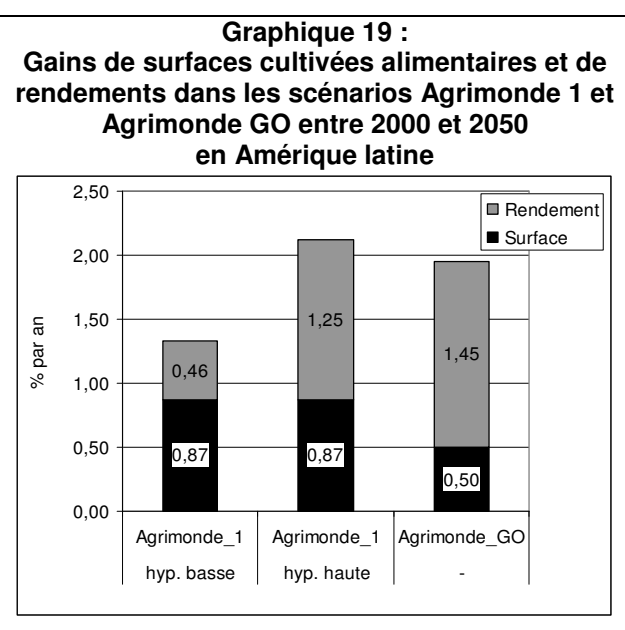
¹¹³ Le concept de jardin créole se réfère à la grande diversité de plantes cultivées, souvent en association, sur une surface réduite.

¹¹⁴ « crise aiguë [dans les zones d'Afrique des hautes terres] des systèmes agraires : faible surface par famille, entretien difficile de la fertilité des sols, plafonnement des productions, concurrence pour l'usage des ressources. » [Griffon, 2006].

développement d'incitations à préserver la forêt, qui est donc un point clé du scénario dans cette région comme dans d'autres, suppose une gouvernance mondiale forte.

II.4.3 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Amérique latine

Entre 2000 et 2050, l'Amérique latine a connu une forte croissance démographique, sa population ayant augmenté de 44%. Parallèlement, la demande en calories par habitant s'est stabilisée dans le scénario Agrimonde 1 (- 3,4% par rapport à 2000) et a augmenté de 20% dans le scénario Agrimonde GO. Au total, la demande en calories a atteint 2 320 Gkcal/j dans le scénario Agrimonde 1 et 2 860 Gkcal/j dans le scénario Agrimonde GO. Les régimes alimentaires de ces deux scénarios ne diffèrent pas seulement sur le plan de la demande totale en calories, mais aussi sur celui de leur composition. Dans le scénario Agrimonde GO, les trois quart des calories sont d'origine végétale, alors qu'elles le sont à 83% dans le scénario Agrimonde 1.



Afin d'augmenter les capacités productives de la région, la 'stratégie' adoptée dans le scénario Agrimonde 1 repose sur la mise en valeur d'une partie de l'énorme potentiel cultivable latino-américain et sur une augmentation modérée des rendements des cultures, tandis qu'elle table essentiellement sur l'accroissement des rendements grâce au progrès technologique dans le scénario Agrimonde GO. Effectivement, les surfaces cultivées doublent dans Agrimonde 1 alors qu'elles n'augmentent que de 55% dans Agrimonde GO, et les rendements des cultures ne gagnent que 25% dans Agrimonde 1 alors qu'ils doublent dans Agrimonde GO.

Les gains de rendements ralentissent par rapport aux tendances passées dans les deux scénarios (+0,46% par an dans l'hypothèse basse d'Agrimonde 1 et +1,45% dans Agrimonde GO entre 2000 et 2050 contre

+1,88% par an entre 1961 et 2000, cf. graphique 19). Ce ralentissement est dû dans Agrimonde 1 à la prise en compte de la fragilité des sols, particulièrement dans les zones herbagères et sur les fronts pionniers forestiers de cette région. La progression y est également freinée par les effets du réchauffement climatique qui pourrait causer, selon la FAO, la désertification et la salinisation de 50% des terres d'ici 2050 et des pertes de rendements [FAO, 2001].

Au total, les deux stratégies adoptées dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO permettent d'équilibrer le bilan ressources-emplois de la région, et même de dégager des surplus régionaux comparables.

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en Amérique latine ?

Le doublement des surfaces cultivées est-il compatible avec un développement durable ?

- sur le plan environnemental, puisqu'il se traduit par une forte réduction des espaces naturels et semi-naturels,
- et sur le plan social, puisque l'extension territoriale risque d'exacerber les inégalités foncières déjà criantes.

Dans le scénario Agrimonde 1, 150 millions d'hectares sont mis en culture entre 2000 et 2050. 110 millions d'hectares ont été pris sur des terres anciennement en pâture, aux sols souvent fragiles et les forêts ont perdu 37 millions d'hectares entre 2000 et 2050. Ces transformations majeures des

espaces naturels et semi-naturels pourraient avoir des impacts sur la biodiversité des écosystèmes, sur les cycles de l'eau et du carbone, mais aussi sur les conditions de vie des communautés qui dépendent des ressources naturelles de ces écosystèmes (aliments, bois, pharmacopée, symboles culturels).

Sur le plan social, dans une des régions les plus inégalitaires du monde¹¹⁵, on peut questionner le scénario Agrimonde 1 sur les conditions d'accès à ces nouveaux espaces mis en culture, et sur la répartition de la rente fournie par leur exploitation. Ces nouvelles terres ont-elles été un levier pour permettre l'installation de familles sans terres ? Ont-elles été le lieu de développement de systèmes de production et de transformation des produits alimentaires bénéficiant à la sécurité alimentaire de leurs habitants ? Ou bien ont-elles été mises au service du développement des agro-carburants (qui ont gagné 60 millions d'hectares dans le scénario Agrimonde 1) et de leurs industries avales ? Quel aura été le rôle de l'Etat dans la régulation des marchés fonciers ?

Ces questions peuvent paraître moins prégnantes dans Agrimonde GO, où la pression sur les terres non cultivées est nettement moindre, mais elles le sont vraisemblablement davantage sur les terres cultivées : l'augmentation supposée des rendements dans ce scénario peut-elle se faire sans accroître l'impact sur l'environnement (pollution par les intrants notamment) ? Les systèmes techniques mis en œuvre, pour intensifier la production et éventuellement pour éviter ses effets négatifs sur l'environnement, ne sont-ils pas uniquement à la portée de très grosses exploitations concentrées ? Dans ce cas, quelle est la situation sociale des petits exploitants, notamment ceux qui sont actuellement sans terre ?

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en Amérique latine dans Agrimonde 1 ?

Les questions de durabilité environnementale et sociale sont aussi les principaux défis à relever en Amérique latine dans le scénario Agrimonde 1 ; la gestion des ressources naturelles et du foncier sont donc les principaux leviers de réalisation du scénario.

Dans le scénario Agrimonde 1, l'emprise sur les espaces forestiers (notamment amazonien) se poursuit dans une première phase, durant laquelle les services écosystémiques fournis par le plus grand bassin forestier du monde sont en nette régression. Outre sa fonction de stockage du Carbone, les fonctions hydrologiques de l'Amazonie en sont altérées. Le cycle interne « évaporation-pluie » est affecté et limite la quantité globale d'eau en circulation dans le système amazonien, accentuant ainsi les phénomènes d'aridification induits par le changement climatique (cf. encadré 7). Face à ces tendances, des régulations environnementales mondiales fortes se mettent en place à partir de 2015 et, couplées à la pression des lobbies écologistes nationaux et internationaux, elles stimulent alors la mise en place de politiques publiques de protection, de reforestation et d'aménagement de la forêt. Ces politiques visent notamment à stopper « l'effet domino » provoqué par le développement des agro-carburants, c'est-à-dire stopper la migration des cultures supplantées par les cultures énergétiques vers le front pionnier forestier, ainsi qu'à maîtriser les dynamiques de déforestation liées à l'élevage, aux incendies, à l'exploitation industrielle du bois... En outre, le maintien de la biodiversité suppose de donner une attention spéciale au « hotspot » de biodiversité situé dans le *cerrado* brésilien. Il pourrait également passer par la mise en place d'une trame écologique et supposerait une certaine régulation dans l'extraction des ressources naturelles marchandes (bois, minerais, espèces à valeur pharmaceutique ou cosmétique, etc.).

La mise en culture de terres tropicales ou nouvellement déboisées pose en outre la question du mode de reproduction de leur fertilité, soit des techniques de fertilisation adoptées. Pour Michel Griffon, les techniques de la révolution doublement verte doivent, dans cette région se traduire par un aménagement du milieu forestier conciliant les fonctions écologiques, climatiques et productives de la forêt, un perfectionnement des techniques de mulchage et une plus grande complémentarité des systèmes de culture et d'élevage dans les zones traditionnelles d'agriculture sous climats tropicaux et tempérés, de petits aménagements hydrauliques et une gestion intégrée de l'eau dans les zones sèches [Griffon, 2006]. Ainsi, dans les systèmes de culture du scénario Agrimonde 1, les

¹¹⁵ D'après le rapport sur le développement humain du PNUD de 2004, l'Amérique latine est la deuxième région la plus inégalitaire du monde après l'Afrique subsaharienne. Son indice GINI est de 57,1 (contre 72,2 en Afrique subsaharienne) [Watkins et al., 2005]. Ce coefficient mesure le degré d'inégalité de la distribution des revenus dans une société donnée. Il varie de 0 (égalité parfaite) à 100 (inégalité totale : une personne concentre tout les revenus, les autres n'ont rien).

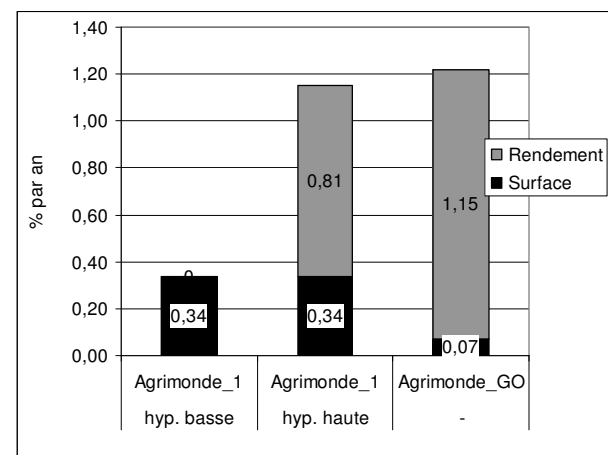
innovations agricoles attendues sont moins de l'ordre des gains de rendement que de l'ordre de la complexification des systèmes de production aux frontières de l'espace cultivé traditionnel : agropastoralisme et systèmes de culture sous ombrage dans les zones de savane arborée et agroforesterie sur le front pionnier forestier. En revanche, les systèmes d'élevage de ruminants auront connu une réelle intensification puisque la demande totale en calories d'origine de ruminants aura augmenté de 4% en Amérique latine entre 2000 et 2050, avec 27% de surface en pâture en moins. Ces évolutions des systèmes de culture et d'élevage supposent que la recherche agronomique aura orienté ses études vers la production en milieu forestier et de savane, et l'approfondissement des questions de complémentarités spécifiques et d'allélopathie dans le temps et dans l'espace. Le volet environnemental fait également partie des priorités puisqu'il s'agit dans cette région de préserver les espaces forestiers, et de limiter les impacts environnementaux d'une intensification de l'élevage sur des terres en pâtures en réduction, et de plus, sujettes à une fragilisation du fait du réchauffement climatique.

Les modes de gestion des ressources naturelles devront tenir compte autant de la valeur écologique des ressources naturelles que de leur contenu culturel et des systèmes d'appartenance qui les régissent. La question du foncier est intimement liée avec la précédente puisque la poursuite de la tendance à la monoculture sur de grands espaces bouleverse le fonctionnement des écosystèmes et est un obstacle à la biodiversité. La durabilité sociale du scénario Agrimonde 1 passe par la réduction des inégalités face au foncier. Elle implique au minimum que soit garantie la sécurité foncière des différents exploitants et que l'accès au marché de la terre ne soit pas discriminant selon les genres ou les origines ethniques. L'efficacité de la valorisation des terres implique quant à elle que l'accès au capital soit facilité pour ceux qui présentent le moins de garanties, mais aussi que des efforts importants soient réalisés tant sur le plan de la formation agricole que de la compréhension du fonctionnement des filières et des marchés agricoles par les différents exploitants.

Enfin, toujours pour la durabilité sociale du scénario, la question du développement des zones rurales est un enjeu fort dans cette région. Le scénario Agrimonde 1 suppose en effet que le développement agricole dans les nouveaux espaces anthropisés aura produit des emplois ruraux et qu'il aura été un instrument de développement rural avec les politiques sociales et d'aménagement du territoire. Dans cette région, la question des acteurs du développement agricole et rurale est déterminante et laissée très ouverte par la quantification du scénario.

II.4.4 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Asie

Graphique 20 : Gains de surfaces cultivées alimentaires et de rendements dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO entre 2000 et 2050 en Asie



L'Asie a connu entre 2000 et 2050 une augmentation de sa population de 33% dans les deux scénarios pour s'établir à plus de 4,4 milliards d'habitants. L'évolution de la consommation alimentaire par habitant est très variables selon le scénario ; alors qu'elle a augmenté de 8 % dans Agrimonde 1, elle s'est accrue de 33% dans le scénario Agrimonde GO, soit près de 1000 kcal supplémentaires par rapport à l'année 2000. De plus, la consommation de produits d'origine animale est dans cette région deux fois plus importante dans Agrimonde GO que dans Agrimonde 1. Au total, la demande régionale en calories est donc beaucoup plus forte dans ce dernier scénario (16 400 Gkcal/j) que dans Agrimonde 1 (13 300 Gkcal/j).

Face à cette augmentation des besoins et étant donné un potentiel d'extension très

limité en 2000, les surfaces cultivées augmentent de façon modérée dans les deux scénarios quoique de façon plus importante dans Agrimonde 1 (+23% entre 2000 et 2050 contre +9% dans Agrimonde GO). Les surfaces en pâture diminuent dans Agrimonde 1 (-10%) alors qu'elles

augmentent dans Agrimonde GO (+14%) pour satisfaire la forte demande en produits animaux. Ces pâtures supplémentaires sont prises sur les forêts qui voient leurs surfaces diminuer de 16 % dans Agrimonde GO, tandis que la diminution, plus faible (-10%), des forêts dans Agrimonde 1 s'explique par la croissance des terres cultivées.

Alors qu'Agrimonde GO parie sur une progression encore forte des rendements (+1,15% par an), Agrimonde 1 envisage au contraire une stabilité des rendements en Asie dans son hypothèse basse (cf. graphique 20). Celle-ci tient à deux raisons principales : d'une part, la prise en compte des impacts du changement climatique, comme l'augmentation de la fréquence d'événements violents tels que les cyclones, mais aussi d'autres problèmes environnementaux comme la salinisation des deltas de riziculture irriguée, et d'autre part, les limites de la révolution verte dans cette région qui connaît en 2000 les rendements les plus élevés du monde (même si certaines zones en agriculture pluviale peuvent encore voir leurs rendements croître).

La couverture des besoins par l'approvisionnement régional n'est pas assurée que ce soit dans Agrimonde 1 (environ – 3 000 Gkcal/jour) ou dans Agrimonde GO (environ - 900 Gkcal/jour). L'Asie doit importer dans les deux scénarios pour satisfaire ses besoins en produits animaux. Toutefois, les importations sont plus de trois fois plus importantes dans le scénario Agrimonde 1 malgré un régime alimentaire beaucoup moins calorique.

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en Asie ?

Qu'en est-il de la cohérence du scénario Agrimonde 1 et qu'apprend-on de la confrontation des deux scénarios ? Le scénario Agrimonde 1 est-il durable en Asie ? Entre 2000 et 2050, la superficie cultivée n'augmentant que très peu, alors que la surface agricole par actif était déjà très faible au début du XXI^{ème} siècle, et les rendements stagnants, les conditions semblent propices à un exode rural extrêmement massif, étant donnée l'augmentation attendue de la population asiatique. Ceci interroge la cohérence de notre scénario à au moins deux égards :

- Si l'agriculture n'absorbe pas une partie de l'augmentation de population en Asie, et que celle-ci ne trouve pas d'occupations dans les zones rurales, un afflux aussi massif de population dans les zones urbaines est-il compatible avec un développement durable ?
- Les tendances à l'urbanisation, dont on attend qu'elles se renforcent ne serait-ce que du fait de l'augmentation de la population totale, sont encore renforcées dans le scénario Agrimonde 1 du fait du principe de non migration de ce scénario. On peut alors se demander si notre hypothèse d'augmentation des surfaces cultivées est bien réaliste puisque les terres artificialisées seront prises en grande partie sur des terres cultivables.

Ces questions liées à l'exode rural et à l'urbanisation se posent également pour le scénario Agrimonde GO et sont considérées par les experts du MEA comme un des risques majeurs associés à ce scénario.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en Asie dans Agrimonde 1 ?

Trois principaux défis caractérisent le scénario Agrimonde 1 en Asie :

1. la diffusion de pratiques agricoles respectueuses de l'environnement en maintenant le niveau des rendements,
2. l'aménagement du territoire pour contenir l'urbanisation et l'artificialisation des terres,
3. la maîtrise de la transition nutritionnelle de sorte qu'elle ne se traduise pas par une épidémie d'obésité.

L'hypothèse de rendement de Michel Griffon pour l'Asie est assez optimiste puisqu'il retient une hypothèse d'augmentation de 0,79% par an de l'ordre de la fourchette haute d'Agrimonde 1. Il considère en effet possible d'augmenter les rendements dans les zones tropicales humides au travers des formes d'agro-foresterie traditionnelle et des aménagements écologiques contre le ruissellement de l'eau dans les pentes et sur les fronts pionniers déforestés. Dans les zones d'agriculture pluviale, il compte sur la capture, la conservation et la réaccumulation de l'eau dans les écosystèmes ainsi que sur des micro-barrages utilisés pour l'irrigation. Pour les régions tropicales de la révolution verte, il cite l'exemple des nouvelles techniques développées par le CIMMYT

reposant sur le semis direct et la restitution des pailles pour la culture suivante¹¹⁶. Le groupe de travail Agrimonde n'a pas été aussi optimiste sur le potentiel des technologies d'intensification écologique, considérant qu'il sera même très difficile de maintenir les rendements au niveau moyen de 2000 en ayant des exigences élevées en matière de préservation des écosystèmes. En effet, non seulement la révolution verte a vraisemblablement atteint ses limites dans cette région, mais de plus le changement climatique va aggraver la salinisation, le manque d'eau déjà prégnant dans le Nord-Est de la région et les risques associés aux événements climatiques extrêmes (sécheresse, typhons...), dont les effets sont dès à présent accentués par le déboisement en cours, notamment en Asie du Sud-Est.

Si les effets du changement climatique sur l'agriculture concernent toutes les régions du monde, c'est sans doute en Asie que cette question sera la plus déterminante puisque ce phénomène menace la sécurité alimentaire déjà fragile. Au-delà de la lutte contre le changement climatique et de l'adaptation des systèmes de culture, on peut imaginer que dans le scénario Agrimonde 1, cette région aura dû mettre en place des systèmes de régulations des stocks et des échanges au niveau régional et d'autres dispositifs de sécurisation de ses approvisionnements extérieurs. La mise en place de tels dispositifs nécessitera la conception de nouveaux mécanismes de régulation. Ainsi, par exemple, se sont développés au début du XXI^{ème} siècle des investissements dans des grands domaines agricoles par des pays contraints en termes d'espaces cultivables vers les régions dont le potentiel n'est pas encore complètement exploité. Des mécanismes spécifiques de régulation et de gouvernance seront à imaginer pour garantir la durabilité tant sociale qu'environnementale de tels investissements et faire en sorte qu'ils constituent de réelles opportunités de développement pour les pays d'accueil.

Agrimonde 1 décrit un équilibre très fragile en Asie puisque l'agriculture n'absorbera pas l'augmentation de la population rurale et l'extension envisagée des terres cultivées, même si elle est modeste, risque de ne pas être réalisable du fait de l'artificialisation des terres. Ce scénario repose donc en grande partie sur des politiques d'aménagement du territoire qui devront avoir comme objectifs : 1) le développement de l'emploi rural pour contenir l'exode rural, 2) la maîtrise de l'urbanisation, que ce soit en termes de concurrence foncière avec l'agriculture, de gestion des ressources en eau, de problèmes de congestion ou encore de tensions sociales. Ceci interroge la durabilité des formes urbaines et périurbaines d'agriculture, des modèles d'urbanisation (densification verticale de mégapoles, développement de villes moyennes réparties sur le territoire...) et plus généralement des différentes configurations de relations villes-campagnes susceptibles d'émerger.

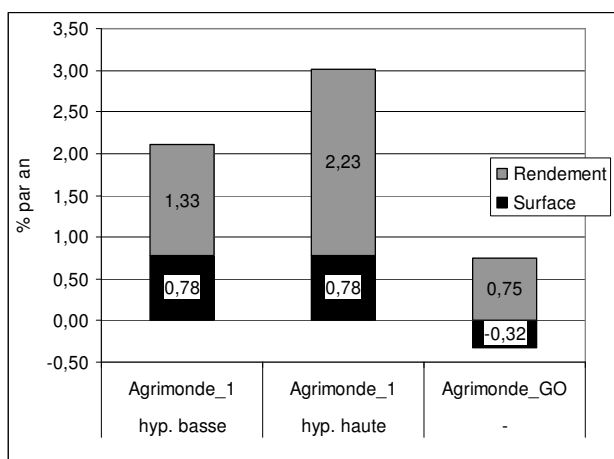
Le troisième défi que souligne le scénario Agrimonde 1 et sa confrontation à Agrimonde GO concerne la transition nutritionnelle. Dans Agrimonde 1, en 2050 toutes les régions du monde voient leur demande moyenne en calories par habitant et par jour tendre vers 3000 kcal. Agrimonde GO envisage au contraire des évolutions tendanciennes des consommations alimentaires. Ainsi, alors que la demande calorique par habitant augmente de 8% en Asie dans Agrimonde 1, elle progresse de 30% dans Agrimonde GO, poussée par l'augmentation des revenus et la généralisation de comportements alimentaires urbains et de façon liée par le poids croissant des calories d'origine animale dans les régimes alimentaires. La question est alors celle des facteurs qui pourraient freiner l'augmentation de la consommation alimentaire ; elle se pose pour toutes les régions en développement mais est d'autant plus prégnante en Asie que sa population représente plus de la moitié de la population mondiale et va augmenter de plus de 30% entre 2000 et 2050. Le différentiel de consommation calorique entre les deux scénarios est donc le plus marqué dans cette région (respectivement 13 300 et 16 400 Gkcal par jour). La possibilité de contenir l'augmentation de la consommation alimentaire moyenne en Asie est déterminante à deux égards dans le scénario Agrimonde 1 : 1) son équilibre ressources – emplois alimentaires au niveau mondial en dépend beaucoup ; 2) sa durabilité sur le plan de la santé également, si l'on considère que les épidémies d'obésité qui accompagnent au début du XXI^{ème} siècle la transition nutritionnelle dans les pays en développement risquent de se généraliser : le taux d'adultes devenant obèses chaque année en Chine entre 1992 et 2007 était, par exemple, supérieur à celui des pays développés et en développement, sauf le Mexique [Popkins, 2008].

¹¹⁶ Techniques développées sur 6 millions d'hectares en 2004 (Riz / Blé) ou (Riz/Maïs) [Griffon, 2006].

II.4.5 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Ex Union soviétique

Entre 2000 et 2050, la population de l'Ex-URSS a baissé de 15%. Elle a maintenu son niveau de demande en calories par habitant dans le scénario Agrimonde 1, portant le total des demandes à 717 Gkcal/j. Dans le scénario Agrimonde GO, la demande en calories par habitant a augmenté de 13% par rapport à 2000, et les demandes cumulées atteignent 826 Gkcal/j au total. Les régimes alimentaires requièrent de plus d'avantage de calories d'origine animale que dans le scénario Agrimonde 1 (respectivement 38% et 15,5% des calories sont d'origine animale dans Agrimonde GO et Agrimonde 1). Les demandes cumulées de calories d'origine animale baissent ainsi de 25 % dans Agrimonde 1 alors qu'elles font plus que doubler dans Agrimonde GO.

Graphique 21 : Gains de surfaces cultivées alimentaires et de rendements dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO entre 2000 et 2050 en Ex-URSS



Dans le scénario Agrimonde 1, l'Ex-URSS a mis fin aux tendances de réduction de l'espace cultivé et des rendements observées entre 1961 et 2000 pour opérer un véritable décollage agricole. Elle a accru sa surface cultivée de 50% et doublé ses rendements entre 2000 et 2050 (+ 1,33% par an). Ceci s'est traduit par la mise en culture d'un peu plus de 100 millions d'hectares, ce qui repose sur l'hypothèse conjointe d'un déplacement des zones pâturées vers le Nord au gré du dégel du pergélisol, ainsi que par un rattrapage du niveau de rendement jusqu'au niveau de la région OCDE-1990 en 2000.

A l'inverse, dans le scénario Agrimonde GO, l'accroissement de la production est passé uniquement par les gains de rendements (+ 0,75% par an entre 2000 et 2050), même si ceux-ci sont plus faibles

que ceux envisagés dans Agrimonde 1 (cf. graphique 21). La logique de construction d'Agrimonde GO est en effet toute autre puisque la mise en culture des nouvelles terres vise à équilibrer l'offre et la demande de biomasse et non à valoriser l'énorme potentiel cultivable de la région. Les surfaces agricoles n'ont par conséquent augmenté que de 3 millions d'hectares entre 2000 et 2050. 35 millions d'hectares sont dédiés aux agro-carburants (biofuels) en 2050, réduisant les surfaces alimentaires presque d'autant (- 32 millions d'hectares).

L'extension des surfaces en pâture observée entre 1961 et 2000 prend fin dans les deux scénarios. Dans le scénario Agrimonde 1, les nouvelles surfaces herbagères prises sur les anciennes terres du pergélisol pourraient être moins productives que les anciennes prairies mises en culture. Mais la réduction des aires en pâture est associée à une réduction de 40% de la demande individuelle en calories provenant de ruminants. A l'inverse, dans Agrimonde GO, cette demande fait plus que doubler dans le même temps.

Parallèlement, la tendance actuelle à la déforestation s'interrompt dans Agrimonde 1 entre 2000 et 2050 et s'inverse dans Agrimonde GO où les forêts ont gagné 119 millions d'hectares entre 2000 et 2050. Les forêts boréales sont ainsi conservées dans les deux scénarios, or celles-ci «constituent le premier réservoir de carbone de la biosphère. Elles se distinguent des forêts tempérées et tropicales par leur stockage très important du carbone dans le sol (85% contre 30-75% pour les autres) » [D4E, 2007].

Dans les deux scénarios, les emplois de biomasse peuvent être largement couverts par les ressources régionales. Les surplus dégagés sont plus douze fois plus importants dans Agrimonde 1 que dans Agrimonde GO.

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en Ex Union soviétique ?

La comparaison des deux scénarios pose la question de la signification que peut avoir la mise en culture de plus de 100 millions d'hectares dans une région où la population décroît. Plusieurs options sont envisageables. Les superficies cultivées par actif agricole pourraient fortement augmenter grâce à l'automatisation et la mécanisation des tâches agricoles. Les exploitants agricoles pourraient aussi largement faire appel à de la main d'œuvre en provenance des régions frontalières, l'Asie et l'Europe.

Les deux options envisagées posent des questions sur la cohérence du scénario Agrimonde 1. L'adoption de nouvelles techniques permettant de substituer certaines tâches humaines et d'agrandir les surfaces cultivées par actif requiert un investissement en capital important. Ce saut d'investissement pourrait ne pas avoir été réalisable par tout le monde et avoir entraîné un développement agricole à deux vitesses : les uns agrandissant et équipant leur exploitation agricole, les autres décapitalisant progressivement pour rester compétitifs. De plus, dans cette option de conquête de nouveaux espaces productifs à population décroissante, le tissu rural pourrait s'être relâché significativement engendrant toutes sortes de problèmes d'accès aux services, d'isolement des personnes, etc.

L'option de recours à une main d'œuvre en provenance d'autres régions est contraire au principe d'absence de migrations interrégionales, qui préside aux principes de construction du scénario Agrimonde 1. Cette hypothèse pourrait cependant être en cohérence avec les problèmes d'emploi agricole émergents en Asie vu les limitations du potentiel cultivable : la main d'œuvre employée dans la région de l'Ex-URSS pourrait donc logiquement être d'origine asiatique dans ce scénario. Dans ce cas, on s'éloigne cependant de la logique initiale d'évaluation des « effets des évolutions démographiques à venir sans les masquer par de grands mouvements de migrations internationales » qu'on cherchait à explorer. Quoi qu'il en soit, le rôle de réservoir de production conféré à cette région dans le scénario Agrimonde 1 constitue donc une hypothèse particulièrement forte.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en Ex Union soviétique dans Agrimonde 1 ?

Comme on l'a vu, le principal défi mis en évidence par Agrimonde 1 dans cette région est la mise en culture de plus de 100 millions d'hectares en 50 ans alors que la population décroît. Dans une telle configuration, le doublement des rendements aura sans doute reposé sur une agriculture très automatisée grâce aux technologies de l'imagerie et de l'informatique pour substituer l'observation des cultures et l'analyse de leur état. Il se sera aussi fondé sur le développement des techniques de l'agriculture de précision afin de limiter les pollutions chimiques.

Le paysage agricole aura eu tendance à se simplifier, laissant une place accrue aux champs cultivés dans le Sud de la région et aux espaces pâturés dans le Nord. Il est vraisemblable que cette redistribution des activités agricoles aura été accompagnée par une spécialisation des exploitations agricoles. Dans le domaine de la production végétale, la spécialisation des exploitations aura été compatible avec l'extension attendue de la superficie travaillée par actif (intensification de la productivité du travail). Dans le domaine de la production animale, elle aura pu se traduire par une extensification des élevages de ruminants à l'hectare sur les terres moins productives prises sur le pergélisol : entre 2000 et 2050, la demande totale en calories d'origine de ruminants aura diminué de 50% alors que les surfaces pâturées n'auront été réduites que de 17%. Cette évolution aura demandé à la recherche agronomique de se donner les moyens de répondre au défi de minimiser les externalités négatives d'une agriculture qui, au minimum, double le rendement des cultures en spécialisant ses systèmes de production, voire même en déconnectant la culture de l'élevage. L'exploitation des terres fragiles issues du dégel du pergélisol lui aura également adressé de nouvelles questions en termes de conservation des sols.

Par ailleurs, pour saisir les opportunités d'extension territoriale au Nord permises par le réchauffement climatique, un certain nombre d'adaptations auront dû être mises en place. En particulier :

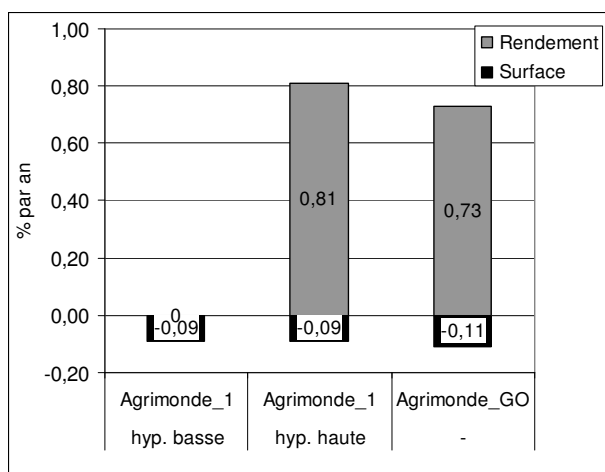
- un cadre juridique et une politique foncière présidant à la redistribution des nouvelles terres prises sur le pergélisol,

- le prolongement du réseau des infrastructures de transport vers les zones nouvellement productives. Il pourra comprendre jusqu'à la construction de nouveaux ports sur les côtes arctiques aujourd'hui gelées.

II.4.6 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : OCDE-1990

Entre 2000 et 2050, l'OCDE-1990 a connu une augmentation de 8% de sa population, soit 80 millions d'habitants supplémentaires. La consommation de calories alimentaires a diminué de 25% dans le scénario Agrimonde 1 pour s'établir à 3000 kcal/ hab./j tandis que celle en produits animaux a chuté de plus de moitié. Au contraire, dans le scénario Agrimonde GO, la consommation de calories alimentaires est demeurée stable et celle en produits animaux a cru de 25%. Au total, la demande en calories atteint 4370 Gkcal/j dans Agrimonde GO et 3200 Gkcal/j dans Agrimonde 1 en 2050.

Graphique 22 : Gains de surfaces cultivées alimentaires et de rendements dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO entre 2000 et 2050 en OCDE-1990



L'évolution des surfaces alimentaires est semblable dans les deux scénarios ; les surfaces cultivées alimentaires ont régressé (d'environ 5% dans les deux scénarios) ainsi que les pâtures (d'environ 23% dans Agrimonde 1 et de 19% dans Agrimonde GO) tandis que les forêts ont progressé (de 10% dans les deux scénarios). Les rendements ont par contre évolué de manière très différenciée : stabilité dans l'hypothèse basse d'Agrimonde 1 et forte progression dans Agrimonde GO (+ 47%, soit 0,73% par an, cf. graphique 22).

Dans l'hypothèse basse de rendement du scénario Agrimonde 1, la stabilisation des rendements en OCDE-1990 tient essentiellement au fait que la priorité est donnée à la recherche de qualité des produits sur le plan tant organoleptique, sanitaire qu'environnemental et non à l'intensification des systèmes de production.

Malgré une forte augmentation des rendements dans Agrimonde GO, le surplus total y est inférieur de 40% par rapport au scénario Agrimonde 1. La raison en est le différentiel de consommation de produits animaux dans les deux scénarios. Ainsi, c'est dans la région OCDE-1990 que la confrontation des deux scénarios met en lumière de façon la plus évidente l'importance de la consommation de produits animaux sur les équilibres ressources - emplois, notamment vu l'importance des concentrés dans les systèmes de production animale dans cette région.

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents en OCDE-1990 ?

La mise en regard des potentialités de production avec les consommations dans le scénario Agrimonde 1, laisse apparaître une diminution de la consommation calorique par habitant alors que la région se situe loin des limites de production, en termes de surfaces comme en termes de rendements. Si ceci ne pose pas de problème de cohérence au niveau régional, on peut s'interroger sur la cohérence d'une telle 'option' régionale au niveau global. En effet, une pression plus forte sur les ressources dans la zone OCDE-1990 permettrait par ailleurs de relâcher celle exercée sur les écosystèmes d'autres régions.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation en OCDE-1990 dans Agrimonde 1 ?

Deux principaux défis marquent la région OCDE-1990 dans le scénario Agrimonde 1 : 1) un changement d'orientation de l'agriculture tant en matière de pratiques que de produits et services offerts et 2) la diffusion de modes de consommation alimentaire moins riches en calories, notamment d'origine animale.

L'hypothèse de maintien des rendements à travers une modification des pratiques agricoles, moins intensives en intrants chimiques et reposant davantage sur la connaissance des écosystèmes conduit à s'interroger sur les pratiques mises en œuvre, sur la capacité de ces pratiques à atteindre l'objectif de maintien des rendements au niveau de 2000, mais également sur les raisons de telles transformations. Une telle évolution peut s'expliquer par des pressions des consommateurs et des politiques publiques pour orienter l'agriculture vers la multifonctionnalité, des pratiques moins dommageables pour l'environnement et la production de denrées de qualité, même si une partie des exploitations agricoles auront continué dans la voie de l'industrialisation et de la production de denrées alimentaires standards. Cette orientation suppose cependant que les produits à haute valeur ajoutée trouveront suffisamment de débouchés. Si le développement important des filières offrant des produits agricoles à haute valeur ajoutée permettra sans doute des économies d'échelle et donc une réduction de leur prix d'achat, le scénario Agrimonde 1 suppose tout de même que la tendance à la précarisation des classes moyennes dans de nombreux pays de cette région depuis la fin du XX^{ème} siècle aura été enrayée.

La réduction de la consommation calorique moyenne par habitant de 25% entre 2000 et 2050 imaginée dans Agrimonde 1 est bien entendu une rupture de tendance majeure dans cette région. Elle renvoie aux politiques nutritionnelles et à leur efficacité, aujourd'hui très controversée, mais aussi à la réduction des pertes à la consommation au travers d'un moindre gaspillage et d'une meilleure valorisation des déchets.

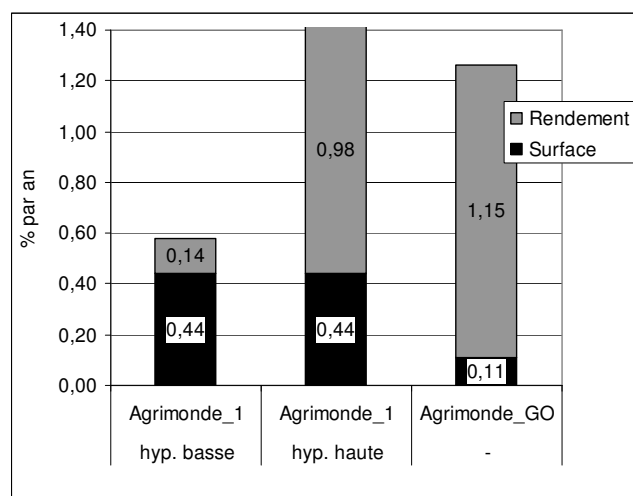
II.4.7 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Monde

Dans les deux scénarios, la population a augmenté de 42% entre 2000 et 2050, pour atteindre près de 9 milliards d'habitants tandis que la demande en calories par habitant connaît des niveaux très différenciés : stagnation à 3000 kcal/j/habitant dans Agrimonde 1 et progression à 3590 kcal/j/habitant dans Agrimonde GO, soit une augmentation de 20% par rapport aux chiffres de 2000. Les régimes alimentaires de ces deux scénarios ne diffèrent pas seulement sur le plan de la demande totale en calories, mais aussi sur celui de leur composition : 500 kcal/j/hab de produits d'origine animale dans Agrimonde 1 et 830 kcal/j/hab dans Agrimonde GO. Au total, la consommation calorique mondiale atteint 26 840 Gkcal/j dans Agrimonde 1 et 32 084 Gkcal/j dans Agrimonde GO.

L'augmentation de la production repose dans le scénario Agrimonde 1 sur la mise en valeur du potentiel cultivable encore inexploité dans certaines régions du monde (+ 39% de terres mises en cultures entre 2000 et 2050) et la mise en œuvre de techniques de production autorisant des hausses de rendements modérées (+ 0,14% par an). Une stratégie différente est proposée dans Agrimonde GO, où l'expansion des surfaces est plus limitée (+ 18%) et la hausse des rendements nettement plus importante (+ 1,14% par an). Les pâtures reculent de 15% dans Agrimonde 1 alors qu'elles augmentent de 2% dans Agrimonde GO. Ces tendances reflètent aussi les différentes orientations qui ont été prises dans les deux scénarios en termes de demande en calories provenant de ruminants (1 580 Gkcal/j dans Agrimonde 1 et 4 057 Gkcal/j dans Agrimonde GO). Les surfaces forestières sont peu affectées au niveau mondial quel que soit le scénario (- 1% dans les deux scénarios).

Au final, ces deux stratégies permettent d'équilibrer le bilan ressources-emplois au niveau mondial, Agrimonde GO dégageant même un surplus. Le commerce interrégional est cependant indispensable dans les deux scénarios pour satisfaire les besoins de toutes les régions.

Graphique 23 : Gains de surfaces cultivées alimentaires et de rendements dans les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO entre 2000 et 2050 dans le monde



gains de rendements dans Agrimonde GO.

La comparaison des deux stratégies envisagées illustre bien deux modes d'intensification possibles. Dans le scénario Agrimonde GO, les gains de rendements sont importants et permettent en contrepartie de limiter la mise en culture des espaces naturels (forêts) et semi-naturels (savanes ou prairies semi-naturelles). A l'inverse, dans le scénario Agrimonde 1, la volonté de limiter la pression sur les ressources naturelles dans les espaces productifs a contraint les rendements dans les limites connues en 2000 dans le cas de l'hypothèse basse de rendements. Pour atteindre un équilibre ressources-emplois au niveau mondial, l'extension des surfaces agricoles est indispensable, même si celle-ci est modérée par la stabilisation de la demande en calories alimentaires à 3000 kcal/pers/j dans le scénario Agrimonde 1 ou par les

Les scénarios Agrimonde sont-ils cohérents au niveau global ?

En plus des questions de cohérence identifiées au niveau régional, le scénario Agrimonde 1 pose des questions en termes de cohérence globale :

- Le scénario Agrimonde 1, pour être cohérent, repose sur la possibilité d'échanges interrégionaux puisque certaines régions affichent des surplus tandis que d'autres régions ne peuvent pas satisfaire régionalement les besoins alimentaires envisagés. Ces possibilités d'échanges doivent reposer sur des régulations qui, d'un côté, ne se traduisent pas par des distorsions de prix défavorables au développement de l'agriculture dans les pays en développement, et d'un autre côté, permettent de révéler les coûts environnementaux associés aux activités agricoles pour inciter les agriculteurs à développer des systèmes d'exploitation plus durables.

- La disparité des niveaux de pression qui s'exercent sur les terres dans les différentes régions du monde interroge le choix de ne pas exploiter plus avant le potentiel cultivable des régions Amérique latine et OCDE-1990 pour desserrer la forte pression qui s'opère sur les terres dans d'autres régions du monde (Afrique du Nord – Moyen Orient, et Asie en particulier).

- Le scénario suppose que des politiques aient été mises en œuvre à l'égard de la forêt, permettant de stopper la déforestation en Ex-URSS, de la ralentir fortement en Amérique latine et de la freiner légèrement en Afrique subsaharienne. Ceci pose la question de l'harmonisation des politiques de gestion des ressources naturelles au niveau mondial, et de l'articulation des initiatives régionales et globales.

- La baisse des surfaces en pâtures dans Agrimonde 1 et sa légère augmentation dans Agrimonde GO peuvent apparaître paradoxaux puisque Agrimonde GO suppose une intensification de l'élevage. Ce paradoxe n'est qu'apparent puisque ces évolutions sont liées aux régimes alimentaires envisagés dans les deux scénarios, en particulier pour leur composition en calories issues de ruminants. Il conduit néanmoins à s'interroger sur les options les plus durables pour les systèmes d'élevage. En effet, ceux-ci doivent permettre l'optimisation, en termes d'usage des ressources et de conversion des calories végétales en calories animales tout en minimisant les impacts sur l'environnement (liés à la pollution et aux changements d'usage des sols). En outre cette optimisation doit être adaptée au contexte local. Par exemple, dans certaines zones, l'élevage remplit d'autres objectifs que la seule alimentation humaine : traction animale, capital sur pied, amendements, etc.

- Le fort contraste en termes de densité de population entre les régions questionne également le principe de construction du scénario selon lequel les migrations régionales resteraient limitées à l'ampleur connue dans le passé d'ici à 2050.

De son côté, la cohérence du scénario Agrimonde GO repose sur deux hypothèses très fortes. D'une part, il suppose que la libéralisation des échanges, couplée à des progrès techniques importants, permet de susciter le développement. D'autre part, les fortes hausses de rendements envisagés sur la base d'une poursuite de la trajectoire scientifique et technologique de la révolution verte sont parfois en contradiction avec les baisses de rendement prévues du fait du changement climatique dans les études du GIEC et de Parry et al. (2004), réalisées certes à niveau technologique constant (cf. encadrés 5 à 10). Pour être réalisables, cela suppose à la fois que la trajectoire d'Agrimonde GO est toujours porteuse d'opportunités de progrès considérables et que l'état des écosystèmes ne sera pas une menace à la concrétisation de ces opportunités.

Quels facteurs d'évolution pour l'agriculture et l'alimentation au niveau global dans Agrimonde 1 ?

Au niveau global, le principal défi du scénario Agrimonde 1 est celui des régulations et modes de gouvernances interrégionales qui permettraient de le faire émerger. Celles-ci concernent l'aide au développement, les échanges de biens agricoles, la lutte contre le réchauffement climatique, la protection des ressources naturelles (eau et forêt notamment) et des écosystèmes, la distribution du foncier mais aussi les investissements directs étrangers dans l'agriculture dans leurs dimensions sociales et environnementales. La question des droits de propriété intellectuelle est également déterminante puisqu'Agrimonde 1 repose sur des innovations radicales qui supposent des progrès techniques (et donc des incitations) et la circulation des savoirs. En outre, le caractère indispensable des échanges alimentaires, le scénario Agrimonde 1 entraîne le risque qu'ils se convertissent en arme alimentaire. Cette menace aura dû favoriser l'établissement d'accords internationaux sur les politiques alimentaires.

Agrimonde GO table sur la libéralisation des échanges et des transferts interrégionaux d'aides au développement, qu'il associe à une gouvernance mondiale forte et multilatérale pour accélérer la croissance dans toutes les régions du monde et ainsi réduire la pauvreté et la malnutrition. Le scénario Agrimonde 1 est plutôt plus exigeant en termes d'efficacité de la gouvernance mondiale puisqu'elle doit permettre également une pro-activité dans la gestion des écosystèmes, absente dans Agrimonde GO. Il est pourtant difficile de trancher quant à son caractère multilatéral ou régional. De même, si Agrimonde 1 repose sur la libre circulation des biens agricoles, la prise en compte des fortes interactions entre production agricole et ressources naturelles (et changement climatique) doit peser sur la régulation des échanges.

II.5 De l'exploration des hypothèses qualitatives aux récits de scénarios

Jean-Marc Chaumet, Sandrine Paillard, Sébastien Treyer

Dans ce chapitre, il s'agit d'explorer la variété des dimensions qualitatives des scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO pour proposer des scénarios complets au niveau mondial. Dans un premier temps, sur la base de l'exploration prospective conduite dans les chapitres précédents, nous nous interrogeons sur ce que pourraient être les hypothèses sur les variables qualitatives du système Agrimonde pour chacun des scénarios (II.5.1). Dans un second temps, un récit possible de chacun des deux scénarios est proposé (II.5.2).

II.5.1 Hypothèses sur les variables qualitatives du système Agrimonde

Cette section reprend la grille des dimensions et variables du système Agrimonde présentée dans la partie I, pour explorer plus avant des dimensions qualitatives laissées ouvertes par les principes de construction des scénarios et leur quantification et par les analyses en termes de confrontation, de cohérence et de facteurs d'évolution des scénarios au niveau de chaque grande région. Cette grille, construite par le groupe de travail, reprend de façon structurée les variables perçues par les experts du groupe comme les plus déterminantes du devenir des agricultures et alimentations du monde en 2050¹¹⁷. La première dimension regroupe les variables de nature contextuelle, tandis que les autres dimensions réunissent des variables susceptibles d'avoir un impact plus direct puisqu'elles se situent davantage au cœur des systèmes agricoles et alimentaires. Si elle peut être déclinée au niveau des régions et au niveau mondial, elle n'est mobilisée ici, par souci de simplicité, que pour construire des scénarios complets au niveau mondial.

Pour Agrimonde GO, excepté les hypothèses associées aux évolutions démographiques (qui sont les mêmes que dans le scénario Agrimonde 1 de sorte que les pressions démographiques soient semblables), les hypothèses sur les variables sont proposées sur la base de notre compréhension du récit du scénario *Global Orchestration* tel qu'il est proposé dans le rapport du MEA. Pour le scénario Agrimonde 1, les hypothèses sont construites sur la base des principes du scénario (II.1), des hypothèses quantitatives (II.2 et II.3) et de l'analyse du scénario en termes de confrontation, de cohérence et de facteurs d'évolution (II.4).

Cette analyse permet d'illustrer la variabilité possible et les incertitudes existantes sur un certain nombre de variables pourtant déterminantes pour que le scénario présenté fasse partie des futurs possibles. Dans la grille du système Agrimonde, représentée par les tableaux ci-dessous, les cases en grisé correspondent aux variables pour lesquelles les hypothèses apparaissent les plus ouvertes.

Le contexte mondial

Dans l'exploration prospective réalisée dans les chapitres précédents, la population mondiale fait l'objet d'une hypothèse quantitative identique dans les deux scénarios Agrimonde (environ 9 milliards d'habitants dans le monde en 2050). Les hypothèses relatives à l'urbanisation et à l'exode rural, la croissance économique et la répartition des revenus au niveau mondial sont assez contraintes par les principes de construction des scénarios et les hypothèses quantitatives sur les emplois et ressources agricoles. En effet, le monde Agrimonde 1 en 2050 a vu les pays aujourd'hui en développement se développer sur la base d'un décollage agricole caractérisé par des systèmes d'exploitation plutôt intensifs en main d'œuvre. L'emploi rural, autre qu'agricole, a aussi dû être une priorité des politiques de développement. Ainsi, même si l'exode rural et l'urbanisation dans les régions à forte croissance démographique restent massifs, Agrimonde 1 correspond plutôt à un scénario de stabilisation de leur rythme contrairement à Agrimonde GO dans lequel ils s'accroissent puisque les progrès techniques dans l'agriculture y sont à la fois très rapides et orientés vers une substitution capital-travail.

¹¹⁷ En prospective, cette étape est souvent appelée analyse morphologique.

Le développement agricole, couplé à une hausse des consommations alimentaires en kilocalorie dans les régions situées aujourd'hui en dessous de la moyenne mondiale, apparaît complémentaire d'une croissance économique mondiale forte et une répartition plus équitable des revenus. Dans la région OCDE-1990, qui voit son niveau moyen de consommation en kilocalorie réduit de 20%, il aurait été envisageable de faire une hypothèse de décroissance. Toutefois, étant donné le rythme de développement des autres régions, il apparaît plus cohérent d'imaginer que l'ampleur des débouchés industriels, mais aussi agricoles (puisque les régions Asie, Afrique du Nord – Moyen Orient et Afrique subsaharienne restent déficitaires), permise par le décollage économique tire la croissance des pays riches. En outre, la baisse du niveau moyen de kilocalories consommées dans cette région est associée à une amélioration de la qualité des produits consommés et est donc compatible avec des niveaux de budgets alimentaires moyens des ménages stables ou même croissants. Une croissance économique mondiale très forte est une des hypothèses de construction du scénario Agrimonde GO ; elle tient à la fois au rythme du progrès technique et à la libéralisation des échanges et permet, par hypothèse (forte), de susciter le décollage économique et par suite une répartition plus équitable des revenus dans le monde.

Le rythme du progrès technique, très rapide par construction dans Agrimonde GO, semble aussi devoir l'être dans Agrimonde 1. En effet, il doit permettre d'améliorer l'efficacité énergétique et de développer des énergies en substitut aux énergies d'origine fossile et limitant les émissions de GES. Plus généralement, la protection de l'environnement et des ressources naturelles étant une priorité forte dans ce scénario, une multitude d'innovations doivent se développer pour permettre des modes de production plus durables des biens et services.

Les variables climat et énergie sont laissées relativement ouvertes par les principes de construction et les hypothèses quantitatives du scénario Agrimonde 1. Dans Agrimonde GO, la forte croissance économique se traduit par une explosion de la demande énergétique qui est avant tout satisfaite par les énergies fossiles même si les agro-carburants se développent et que les énergies renouvelables représentent au total 10% de l'énergie consommée en 2050. Par conséquent, c'est dans ce scénario du MEA que le réchauffement climatique est le plus marqué. Dans Agrimonde 1, en revanche, les investissements massifs dans le développement de nouvelles sources d'énergie permettent de limiter les GES. En outre, les agro-carburants sont surtout produits pour permettre l'autonomie énergétique des exploitations agricoles. Dans la mesure où l'accès à l'énergie est aujourd'hui un des obstacles au développement, l'hypothèse d'un développement massif d'énergies renouvelables sur une base décentralisée serait assez cohérente dans Agrimonde 1, y compris dans les villes, au travers de la valorisation des déchets ou encore de l'autonomie énergétique des bâtiments. Pour le transport, à l'horizon 2050, le déploiement de véhicules électriques est envisageable au travers d'investissements massifs permettant de lever les obstacles techniques et économiques associés aux piles à combustible (longévité des piles, production durable, distribution et stockage sûrs d'hydrogène, etc.).

Si contrairement à Agrimonde GO, la lutte contre le changement climatique est une priorité dans Agrimonde 1, il n'en reste pas moins que l'inertie associée au climat, à l'horizon 2050, couplée à une connaissance encore parcellaire de ce phénomène et de ses conséquences, empêche d'affirmer que le réchauffement sera plus marqué dans Agrimonde GO que dans Agrimonde 1. Agrimonde 1, en tant que scénario de rupture et très exigeant en matière d'actions publiques, est typiquement un scénario qui émerge en réponse à des situations de crise. Ainsi, on peut imaginer, qu'une accélération du changement climatique au début du XXI^{ème} siècle soit une des crises à l'origine du scénario. Même si d'autres conjectures sont envisageables, on peut aussi faire l'hypothèse que la lutte active contre le changement climatique commence à avoir des effets sur l'évolution du climat aux alentours de 2050.

Les relations politiques internationales, même si elles sont assez ouvertes dans le scénario Agrimonde 1, doivent néanmoins permettre non seulement des échanges massifs de produits agricoles, encore plus massifs que dans Agrimonde GO, mais aussi des régulations environnementales très ambitieuses. Elles se caractérisent donc quel que soit le scénario par un haut niveau de coopération internationale. Toutefois, cette coopération peut *a priori* aussi bien être impulsée par un acteur dominant ou bien résulter d'une configuration géopolitique multipolaire.

Le mode de quantification des scénarios Agrimonde ne permet pas de déterminer l'évolution des prix agricoles ; les bilans ressources - emplois n'étant pas des équilibres de marchés. Etant données la pression démographique et l'augmentation du niveau moyen de revenu par tête sous-tendues par les hypothèses quantitatives et les principes de scénario, d'une part, et le type de progrès technique envisagé (pluri objectifs plutôt qu'objectif centré sur l'augmentation des

rendements), une tendance à la hausse des prix agricoles sur le moyen-long terme apparaît comme l'hypothèse la plus cohérente. En outre, on peut imaginer que la répétition des crises alimentaires telles que celle vécue en 2008 soit un des facteurs d'émergence du scénario Agrimonde 1, qui pourrait donc être caractérisé par une forte volatilité des prix en début de période. Pour Agrimonde GO, les travaux du MEA, qui ont reposé sur une modélisation économique, se veulent plus précis sur l'évolution des prix. Si les tensions liées à la demande se traduisent par une hausse des prix du blé et du maïs, le progrès technique permet une baisse des prix du riz et des produits animaux.

I – CONTEXTE MONDIAL		
	Agrimonde GO	Agrimonde 1
Population	9 mds d'habitants (la moitié en Asie)	
Urbanisation et exode rural	Accélération	Stabilisation
Croissance économique	Très forte	Forte, tirée par la croissance des pays en développement
Prix agricoles	Blé et maïs : hausse Riz et produits animaux : baisse ¹¹⁸	Tendance à la hausse des prix réels Avec forte volatilité au moins en début de période
Répartition des revenus	Plus équitable grâce au recul de la pauvreté rurale	Beaucoup plus équitable grâce au recul de la pauvreté rurale et la réduction des inégalités Nord-Sud
Energie	Forte augmentation de la demande (énergie renouvelable = 10% ; fort recours aux agro-énergies)	Développement des énergies renouvelables et décentralisées Pile à combustible
Climat	Réchauffement très important (le plus élevé parmi les 4 scénarios du MEA)	Accélération du changement climatique dans le premier quart de siècle, les effets des politiques de lutte ne se font sentir que vers 2050
Relations politiques internationales	La coopération multilatérale prévaut	Coopération internationale forte (mais hypothèse ouverte sur les configurations géopolitiques permettant cette coopération)
Rythme du progrès technique	Très soutenu	Très soutenu : tiré par les TIC, les nouvelles énergies, l'efficacité énergétique et les éco-technologies

Les régulations internationales

Cette dimension est centrale dans le scénario Agrimonde 1 puisque les régulations internationales doivent permettre à la fois des échanges agricoles massifs mais aussi une protection des ressources naturelles et des écosystèmes. Elles doivent en outre s'accompagner de transferts massifs de capitaux Nord-Sud, le développement étant une des priorités du scénario. Il en va de même dans le scénario Agrimonde GO à l'exception des régulations touchant aux ressources naturelles et à l'environnement qui sont peu développées et essentiellement réactives.

Dans Agrimonde 1, les régulations des échanges agricoles doivent à la fois :

- empêcher des distorsions de prix défavorables au développement de l'agriculture dans les pays en développement,
- permettre des exceptions temporaires pour les pays dont le développement repose essentiellement sur l'agriculture,
- permettre de 'révéler' les coûts environnementaux associés aux activités agricoles pour inciter les agriculteurs à développer des systèmes d'exploitation plus durables.

Toutefois, les scénarios laissent très ouvertes les modalités concrètes de mises en œuvre des régulations internationales. En particulier, on peut imaginer une organisation du commerce internationale fonctionnant à partir de modalités institutionnelles proches de celles du début du

¹¹⁸ Il s'agit ici de résultats des simulations faites dans le cadre du MEA.

XXI^{ème} siècle ou bien au contraire une transformation radicale de celles-ci avec par exemple la création d'une organisation des échanges agricoles chargée de garantir la sécurité alimentaire.

II – REGULATIONS INTERNATIONALES		
	Agrimonde GO	Agrimonde 1
Organisation du commerce international	Libéralisation	Libéralisation mais fortes exceptions à la fois pour les pays à vocation agricole et pour préserver l'environnement (mais hypothèse très ouverte quant aux modalités concrètes)
Accords internationaux sur le climat	Aucun	Ambitieux (mais hypothèse très ouverte quant aux modalités concrètes)
Accords internationaux sur la biodiversité	Aucun	Ambitieux (mais hypothèse très ouverte quant aux modalités concrètes)
Gouvernance et gestion des risques sanitaires	Efficace grâce à la coordination mondiale et au progrès technique	Efficace grâce à la coordination mondiale et à la résilience des écosystèmes (mais hypothèse très ouverte quant aux modalités concrètes)
Gouvernance et gestion des ressources marines	En réaction aux crises écologiques	Proactives et efficaces (mais hypothèse très ouverte quant aux modalités concrètes)
Transfert de capitaux Nord – Sud	Important	Important

Les dynamiques de la production agricole

Cette dimension, au cœur du système Agrimonde, est fortement contrainte par les principes de construction des scénarios et leurs hypothèses quantitatives en ce qui concerne la production agricole au sens strict. Les dynamiques de la transformation sont en revanche très ouvertes dans les deux scénarios.

Comme il a été souligné dans le chapitre II.4, Agrimonde GO et Agrimonde 1 correspondent à deux stratégies bien différenciées d'arbitrage surfaces cultivées – rendements. Dans Agrimonde GO, les surfaces cultivées augmentent de façon plus modérée que dans Agrimonde 1 mais les rendements y progressent bien plus nettement grâce à des technologies de production permettant de substituer du capital au travail et d'augmenter fortement la production à l'hectare. Les technologies de production dans Agrimonde 1 reposent sur l'intensification écologique ; elles doivent permettre de maintenir, voir d'augmenter les rendements tout en limitant de façon déterminante la dépendance vis-à-vis des énergies fossiles et plus généralement l'apport d'intrants, et les impacts des activités agricoles sur les écosystèmes.

Dans les deux scénarios, les investissements dans la production agricole aux niveaux des exploitations mais aussi des infrastructures, ont fortement augmenté, notamment dans les pays en développement. Si l'irrigation représente un poste d'investissement important dans Agrimonde GO, ce n'est pas le cas dans Agrimonde 1 dont les technologies de production privilégient la conservation de l'eau dans les écosystèmes et des assolements adaptés. En revanche, dans ce scénario, la multifonctionnalité de l'agriculture dans les pays riches s'accompagne d'investissements importants dans les paysages, la prévention des risques naturels et plus généralement la gestion collective des ressources naturelles.

Les principes de construction des scénarios impliquent des formes sociales de production très contrastées dans les deux scénarios, Agrimonde GO étant caractérisé par une tendance nette à l'industrialisation de l'agriculture tandis qu'Agrimonde 1, notamment car il suppose des technologies de production faiblement capitalistes dans les pays en développement, repose sur des formes sociales de production plus variées avec une forte composante d'agriculture paysanne dans les pays en développement. Toutefois, les modalités de coexistence de formes sociales variées restent

à imaginer alors qu'elles sont déterminantes pour la réalisation du scénario, notamment dans une région comme l'Amérique latine.

Les deux scénarios restent flous en ce qui concerne l'organisation industrielle et les technologies de production dans le secteur de la transformation. Si la concentration, l'automatisation des procédés et la recherche d'économies d'échelle apparaissent comme une évolution cohérente avec l'esprit du scénario Agrimonde GO, Agrimonde 1 correspond davantage à un scénario de diversité des formes entrepreneuriales, où PME, coopératives et firmes multinationales coexistent. Les technologies de production y sont plutôt tournées vers la recherche d'économies de variété ou encore d'une valorisation des coproduits et des déchets.

III – DYNAMIQUES DE LA PRODUCTION AGRICOLE		
	Agrimonde GO	Agrimonde 1
Surfaces de production	Augmentation, consacrée aux : <ul style="list-style-type: none"> • pâturages et agroénergie, concentrée dans les pays en développement • surfaces irriguées • développement de l'aquaculture. 	Forte augmentation <ul style="list-style-type: none"> • Forte augmentation des surfaces cultivées au détriment des pâtures : • Développement des agro-carburants en OCDE-1990 et Amérique latine
Investissements dans la production agricole (au niveau des exploitations)	Importants surtout dans l'irrigation	Importants surtout dans les pays en développement
Investissements dans les infrastructures et biens publics	Importants surtout dans les pays en développement et pour l'irrigation	Tournés vers la multifonctionnalité dans les pays riches Importants dans les pays en développement
Formes sociales de production	Forte présence de formes capitalistes	Variées avec forte composante agriculture paysanne dans les pays en développement
Techniques de production	Intensification, standardisation technologique et fort développement des OGM	Ingénierie écologique, biotechnologies, adaptation locale
Transformation : organisation et technologie de production	Concentration, automatisation des procédés, recherche d'économies d'échelle	Diversité des formes entrepreneuriales Recherche d'économie de variété, technologies de valorisation des coproduits et des déchets

Les dynamiques de consommation de biomasse

Agrimonde GO se veut un scénario plutôt tendanciel dans le domaine des consommations alimentaires, celles-ci augmentant avec les revenus, notamment dans sa part d'origine animale. La demande de biomasse à des fins énergétiques y est en forte progression.

Agrimonde 1, quant à lui, envisage des transformations importantes des régimes alimentaires associées à des préoccupations environnementales mais surtout nutritionnelles, la lutte contre l'obésité étant un objectif très important dans ce scénario. Si les hypothèses quantitatives ne concernent que le nombre moyen de kilocalories consommées dans les différentes régions, et leur répartition par origines (végétale, monogastrique, ruminant, aquatique), on imagine que les fortes évolutions qui les marquent se traduisent aussi par des transformations importantes des pratiques de consommation alimentaire, notamment dans les régions marquées par une baisse de la consommation calorique totale. Pour certains, Agrimonde 1 correspond plutôt à un scénario dans lequel les consommateurs des pays riches réinvestissent du temps dans la préparation des repas, achètent davantage de produits bruts dans des circuits de distribution plus courts, etc. Pour d'autres, la restauration hors-foyer est un vecteur privilégié de transformation des comportements alimentaires et de diffusion des messages de politiques nutritionnelles. Au total, le scénario reste assez ouvert en matière d'évolution des pratiques de consommations alimentaires.

La consommation d'énergie issue de la biomasse dans Agrimonde 1 n'a pas explosé et reste essentiellement tournée vers l'autonomie des exploitations agricoles. Des hypothèses très contrastées peuvent être faites concernant la consommation industrielle de biomasse (hors énergie) dans les deux scénarios même si Agrimonde 1 correspond plutôt à un scénario dans lequel la

recherche de substituts aux hydrocarbures encourage le remplacement de la carbochimie traditionnelle par la carbochimie biomasse.

Agrimonde GO est un scénario dans lequel les citoyens ont une grande confiance dans la science pour gérer les risques sanitaires ou environnementaux. De son côté, le scénario Agrimonde 1, dans ses principes de construction, ne dit rien sur la sensibilité des citoyens aux questions sanitaires. En revanche, la protection de l'environnement étant une priorité, les citoyens d'Agrimonde 1 y sont très sensibles, ce qui se traduit à la fois dans leurs comportements de consommation et dans la pression qu'ils exercent sur les décideurs publics.

IV – DYNAMIQUES DE LA CONSOMMATION DE BIOMASSE		
	Agrimonde GO	Agrimonde 1
Consommation d'énergie issue de la biomasse	Importante	Essentiellement tournée vers l'autonomie des exploitations agricoles
Consommation industrielle de biomasse	?	La carbochimie biomasse remplace peu à peu la carbochimie pétrole
Pratiques de consommation et régimes alimentaires	Forte augmentation de l'apport calorique total et de la consommation de viandes et de poissons	Transformations importantes, notamment liées aux préoccupations nutritionnelles
Sensibilité de la société aux questions sanitaires	Confiance dans la capacité de la science à les traiter	?
Sensibilité de la société aux questions environnementales		Forte, l'environnement est une priorité sociétale

Les stratégies des acteurs

Les stratégies des acteurs publics et privés dans le domaine agricole et alimentaire sont des facteurs déterminants dans les deux scénarios. Dans Agrimonde GO, les politiques publiques s'adaptent à la tendance à la libéralisation des échanges en baissant de façon marquée les soutiens à la production et sont réactives en matière nutritionnelle, énergétique (se contentant d'encourager les gains d'efficacité énergétique pour faire face à la raréfaction des énergies fossiles) et environnementale. Dans Agrimonde 1, si les soutiens directs à la production sont également voués à disparaître (sauf exceptions temporaires dans les pays les plus dépendants de l'agriculture), l'action publique reste déterminante et proactive, axée sur le développement régional, la protection des écosystèmes, l'adaptation et la lutte contre le changement climatique, etc. Les politiques nutritionnelles y sont également très ambitieuses selon des modalités concrètes qui restent à explorer ; elles ont dû se montrer très innovantes par rapport à ce qu'elles étaient au début du siècle puisqu'elles ont réellement infléchi les comportements alimentaires et plus généralement les modes de vie.

Dans Agrimonde GO, les grandes entreprises d'envergure internationale accroissent leur poids dans la chaîne de valeur agro-alimentaire, les autres acteurs, susceptibles de peser sur les politiques publiques, tels que les organisations professionnelles agricoles ou les ONG sont plus en retrait, même si les ONG de développement ont été des acteurs importants pour mettre le développement au premier plan des agendas politiques internationaux. Le pouvoir d'influence des acteurs privés est plus équilibré dans Agrimonde 1. D'un côté, le secteur agro-alimentaire n'a pas vécu le mouvement de concentration propre à Agrimonde GO, une variété d'acteurs (en termes de produits offerts, de taille et de formes entrepreneuriales) coexistant. D'un autre côté, si les organisations professionnelles agricoles ont vu leur pouvoir se renforcer nettement dans les pays en développement (rééquilibrant ainsi l'influence respective des citoyens et des ruraux sur les politiques publiques), il s'est trouvé contrecarré par les ONG environnementales dans les pays riches.

V – STRATEGIES DES ACTEURS			
		Agrimonde GO	Agrimonde 1
Stratégies des Etats	Politiques agricoles	Baisse marquée des soutiens	Rémunération des services environnementaux (multifonctionnalité et développement régional); réformes agraires et protections tarifaires des productions locales dans les pays en développement à vocation agricole
	Politiques sanitaires et nutritionnelles	Réactives, notamment face à l'épidémie d'obésité	Très actives et efficaces (mais hypothèse très ouverte quant aux modalités concrètes)
	Politiques énergétiques	Recherche d'une meilleure efficacité énergétique	Très actives : R&D, substitution des énergies renouvelables aux énergies fossiles, efficacité énergétique
	Politiques environnementales	Réactives	Proactives : couplées aux politiques de développement et d'aménagement du territoire
Stratégies des acteurs privés	Rôle des organisations professionnelles agricoles	?	Puissantes surtout dans les pays en développement
	Stratégies des FMN	Les FMN accroissent leur contrôle sur la production agricole	La diversité des régimes alimentaires maintient une forte segmentation des marchés et une diversité d'acteurs
	Rôle des ONG	Moyen	Très important

Les connaissances et technologies dans le champ de l'agriculture et de l'alimentation

Dans les deux scénarios, l'effort de recherche et d'innovation, public comme privé, dans le champ agricole et alimentaire a dû être massif et en bonne partie international. Il a été complémentaire d'un investissement important dans la formation des agriculteurs dans les pays en développement. La sécurité alimentaire mondiale est en effet un défi majeur dans ces deux scénarios et elle repose sur la valorisation de la diversité des potentiels agricoles dans le monde. Toutefois, les scénarios se distinguent nettement en ce qui concerne la nature des connaissances produites et leurs modes de production et de diffusion. Tout d'abord, si l'objectif des innovations est principalement l'augmentation des rendements dans Agrimonde GO, celle-ci doit être compatible avec les objectifs de protection des écosystèmes et de moindre dépendance aux intrants dans Agrimonde 1. En outre ces finalités font l'objet de fortes incitations au travers de politiques d'orientation de la recherche publique et privée, dans des cadres nationaux mais aussi internationaux. L'intensification écologique et les progrès décisifs dans la connaissance des écosystèmes qu'elle suppose, repose sur une transformation des modes de production et de diffusion des connaissances caractérisée par de fortes synergies entre savoirs locaux, profanes, pluridisciplinaires et savoirs disciplinaires pointus. Elle nécessite une formation poussée des agriculteurs dans les régions en développement comme dans les pays riches. Les scénarios sont plus flous sur les connaissances à développer dans le champ nutritionnel. Toutefois, on imagine que, dans Agrimonde 1, le défi que représente la lutte contre l'obésité n'a pu être relevé que sur la base d'avancées décisives des connaissances, y compris sur les comportements alimentaires en appui aux politiques publiques.

Le renforcement des DPI (droits de propriété intellectuelle), y compris dans le champ du vivant, dans Agrimonde GO est considéré comme porteur de risques par les experts du MEA ; il est ainsi contesté par les pays en développement. Dans Agrimonde 1, si la quantification des hypothèses et les principes du scénario ne permettent pas de tirer des leçons précises sur l'évolution des DPI, le scénario serait cohérent avec une hypothèse de renforcement des possibilités d'exception pour faire face à des problèmes majeurs de santé publique mais aussi environnementaux et même de sécurité alimentaire, quand l'impossibilité d'acquérir des licences menace les capacités de développement agricole.

VI – CONNAISSANCES ET TECHNOLOGIES DANS LE CHAMP DE L'AGRICULTURE ET DE L'ALIMENTATION		
	Agrimonde GO	Agrimonde 1
Investissements dans la R&D publique et privée	Forts (publics et privés)	Forts (publics et privés) et orientés par des politiques publiques
Objectif des innovations	Augmenter les rendements	Intensification écologique
Statut du vivant dans les droits de propriété intellectuelle	Le renforcement des DPI commence à être mis en cause par les pays en développement en fin de période	Systèmes de DPI avec fortes exceptions (santé publique, développement, environnement)
Orientations de la recherche agronomique	Génie génétique Agrochimie Techniques d'irrigation, etc.	Connaissances du fonctionnement des écosystèmes (écologie, génomique), ingénierie écologique, biotechnologies
Formation des agriculteurs	Importante mais peu tournée vers la gestion de l'environnement, standardisation des compétences	Très développée dans les pays en développement comme dans les pays riches
Lieux et acteurs de l'innovation et de sa diffusion	Laboratoires publics et privés de recherche, centres de formation agricole	Multiples (chercheurs, formateurs, professionnels) et interactifs (clusters, communautés de pratiques et épistémiques très internationalisées)

Le développement durable

Le développement durable est une hypothèse de base dans la construction du scénario Agrimonde 1, qui part justement de l'idée que des agricultures et des alimentations durables caractérisent le monde en 2050. Dans les deux scénarios, des progrès décisifs ont été réalisés en matière de réduction de la pauvreté et de la malnutrition. Agrimonde GO envisage un monde dans lequel répondre à cet objectif n'a pu se faire qu'en 'sacrifiant' d'autres objectifs comme la protection des écosystèmes, la lutte contre le réchauffement climatique ou encore la maîtrise de l'épidémie d'obésité. Agrimonde 1, au contraire, explore la complémentarité de ces objectifs. Celle-ci s'avère néanmoins fragile ; non seulement elle exige des changements de comportements assez radicaux mais aussi la protection des écosystèmes risque dans certaines zones de limiter le développement agricole, comme on l'a vu pour la région Afrique subsaharienne. En outre, le choix de limiter les impacts des activités agricoles sur l'environnement s'est traduit par une limitation des gains de rendements et donc par une forte expansion des surfaces cultivées, qui si elles ont résulté en des gains de biodiversité domestique, ont certainement encore affaibli, toutes choses égales par ailleurs, la biodiversité sauvage.

VII – DEVELOPPEMENT DURABLE			
		Agrimonde GO	Agrimonde 1
Conservation de la biodiversité		Dégradation	Le taux de perte de biodiversité se ralentit
Emission de gaz à effet de serre		Très forte augmentation (+50%)	Après un pic des émissions en 2020, déclin des GES en dessous du niveau de 2000
Fertilité des sols		Dégradation par produits chimiques	Diminution de l'érosion et de la salinisation par les pratiques de l'intensification écologique
Eau (disponibilité et qualité)		Prélèvements plus importants (grâce à une disponibilité plus importante du fait du réchauffement climatique) Dégradation de la qualité	Amélioration des fonctionnalités des écosystèmes liées à l'eau Meilleure gestion de la ressource Faible développement de l'irrigation
Equité sociale	Satisfaction des besoins essentiels (alimentation, santé, emploi, éducation)	Amélioration avec réduction des inégalités	Amélioration avec réduction des inégalités
	Qualité de vie : lieux de vie, culture, relations sociales	Amélioration mais problèmes de durabilité des mégapoles, des pollutions, etc.	Amélioration avec valorisation de la diversité culturelle Nouvelles relations villes-campagnes

II.5.2 Récits des scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1

Cette section présente de manière générale un des modes possibles de fonctionnement du monde en 2050 dans chacun des scénarios. Le récit de scénario Agrimonde GO repose sur le récit qu'en a proposé le MEA [Carpenter et al, 2005]. La description du scénario Agrimonde 1, qui ne correspond pas aux résultats d'une simulation par un modèle, repose notamment sur un ensemble de choix contingents d'hypothèses sur l'avenir de telle ou telle variable ; ces choix d'hypothèses ont été réalisés dans un souci de cohérence qualitative et de plausibilité d'ensemble du scénario.

L'objectif des récits de scénario est avant tout heuristique : la description du fonctionnement systémique du monde dans les scénarios vise à explorer l'ensemble des dimensions qui les constituent et à effectuer les tests de cohérence qualitatifs qui rendent les scénarios plausibles.

On s'intéresse potentiellement à l'ensemble des dimensions pertinentes pour rendre les scénarios plausibles, qu'elles soient techniques, politiques, économiques, institutionnelles, stratégiques, sociales et politiques... Toutes ces dimensions n'ont pas été explorées avec la même qualité d'analyse ; certaines d'entre elles sont évoquées comme nécessitant un approfondissement, ou comme posant des questions majeures pour le scénario.

II.5.2.1 Une description possible du monde dans le scénario Agrimonde GO

Les politiques dans Agrimonde GO ayant pour but l'augmentation du PIB et le bien-être dans les pays pauvres, les impacts anthropiques sur les écosystèmes terrestres augmentent au fur et à mesure que les surfaces agricoles s'étendent. Le monde est avant tout préoccupé par l'emploi et l'alimentation d'une population croissante.

Développement et échanges internationaux se renforcent mutuellement

Depuis le début du siècle, nombreux sont ceux qui ont soutenu que la faim était un problème de répartition équitable plutôt qu'un problème de sous-production. Si l'amélioration de la répartition et une plus grande équité ont été un objectif important de l'action publique dans ce scénario, l'accroissement de la production (par les rendements et dans une moindre mesure les surfaces) a été considéré comme l'option la plus efficace et a donc été l'option préférée dans la plupart des communautés.

Les investissements importants dans la recherche agricole et dans les infrastructures, notamment dans les pays en développement, ont permis d'abaisser les prix internationaux des produits animaux et du riz, sur un marché totalement libéralisé qui a vu les droits de douanes et les distorsions aux échanges se réduire considérablement. Le marché international a permis de satisfaire l'augmentation rapide de la demande alimentaire. Les pays riches ont aidé les pays pauvres à satisfaire leur demande mais à mesure que l'agriculture s'est développée, des régions comme l'Amérique latine et l'Afrique subsaharienne sont devenues exportatrices nettes de certains produits, tandis que l'OCDE-1990 et l'Asie ont vu leurs importations nettes s'accroître.

Les bénéfices de la libéralisation du commerce sont rapidement devenus apparents, après que l'accès aux marchés et la réduction des distorsions de prix aient permis aux pays fournissant des produits de zone tempérée (certaines céréales, viande et lait) de réaliser des bénéfices économiques. Alors que de nouvelles opportunités de marché ont émergé, la croissance économique s'est améliorée dans plusieurs pays d'Amérique latine et dans le Sud et l'Ouest de l'Afrique. L'agriculture dans ces régions s'est intensifiée et s'est simplifiée et a bénéficié d'importantes économies d'échelle.

Cependant, certains pays dont les exportations reposaient sur des produits tropicaux (café, cacao...) n'ont pas forcément bénéficié de l'ouverture internationale. La croissance économique dans ce groupe de pays a reposé sur des opportunités additionnelles qui ont permis de diversifier leur base économique. Dans de nombreux cas, ces opportunités ont cependant été limitées par l'insuffisant développement des politiques en direction du capital humain et des infrastructures.

Dans ce scénario, la croissance économique a été très forte, supérieure aux moyennes historiques dans plusieurs régions (Asie et Ex-URSS notamment). Cette formidable croissance a été atteinte grâce à la combinaison d'une libéralisation du commerce, d'une coopération économique importante

et de la diffusion rapide des nouvelles technologies. Les investissements dans l'éducation et la santé ont été très importants dans toutes les régions. L'Asie a connu un rythme de croissance rapide (5-6% de croissance du PIB/hab. par an) pendant pratiquement toute la période 2000-2050. L'Amérique latine a surmonté ses problèmes d'endettement et de déficit des balances commerciales et a connu une période de forte croissance économique (3-4% de croissance du PIB/hab. par an). L'Afrique a mené des réformes institutionnelles qui ont permis une forte croissance après 2025 (2-4% de croissance du PIB/hab. par an), reposant sur les ressources naturelles et humaines du continent. L'Ex-URSS s'est appuyée sur sa force de travail qualifiée pour se remettre du déclin économique et atteindre une croissance élevée (3-5% de croissance du PIB/hab. par an).

Des progrès technologiques très rapides

Une diffusion rapide de nouvelles technologies a eu lieu dans le scénario Agrimonde GO, grâce aux investissements massifs dans l'éducation et dans la recherche, notamment privée. Les faibles barrières commerciales ont en outre permis la diffusion rapide du savoir et des technologies. Les firmes multinationales se sont beaucoup impliquées dans l'innovation technologique, qui a aussi été de pair avec une dynamique puissante de création d'entreprises. Toutefois, ce développement technologique n'a pas été centré sur la protection de l'environnement.

Energie : une forte hausse de la demande d'énergie fossile et d'agro-carburants

Ce scénario a vu une augmentation rapide de la demande énergétique associée à une forte croissance économique. Le progrès technologique, très rapide, a permis de réduire le coût de l'énergie et d'améliorer substantiellement l'efficacité énergétique. L'utilisation de carburants fossiles a augmenté rapidement mais l'électricité est aussi produite à partir d'énergies renouvelables (qui atteignent 10% de la production totale d'énergie en 2050) et de biomasse. Les surfaces en agro-carburant ont en effet été multipliées par six, poussées par l'augmentation du prix des carburants fossiles. L'Asie est la zone où ces surfaces ont le plus augmenté. Deux facteurs expliquent plus particulièrement cette augmentation. D'une part, des terres sont disponibles pour la production car la production alimentaire est très intensive et demande donc moins de terres, et d'autre part, la demande d'électricité est élevée à cause de la forte croissance économique. Il est à noter que cette hausse de la production d'agro-carburants ne se traduit pas par une déforestation accrue.

Environnement et changements globaux : des objectifs qui passent en second

Dans ce scénario, les conditions sont remplies pour que les problèmes environnementaux, notamment ceux associés au changement climatique et à la pêche, soient traités au niveau mondial, grâce à la coopération internationale. Mais, comme le souci de l'environnement passe après d'autres priorités – croissance économique et sociale, amélioration du bien-être matériel des hommes – les problèmes environnementaux qui menacent le bien-être humain (pollution, érosion, changement climatique) ne sont pris en considération que lorsqu'ils deviennent incontournables. Les institutions internationales ayant une approche réactive de la gestion des écosystèmes, elles sont prises au dépourvu par des événements écologiques imprévus. Ainsi aucune politique climatique n'est engagée dans ce scénario et aucune tentative de contrôler les GES n'est entreprise au cours des premières décennies. Les mécanismes de coopération face aux changements globaux sont en place mais ne sont mis en œuvre que lorsque la situation devient très préoccupante car l'importance des problèmes et leurs causes ne sont pas reconnues.

De plus, la confiance en la capacité de la science et de la technologie à répondre aux enjeux environnementaux crée un contexte favorable aux "surprises" écologiques, comme l'émergence de maladies infectieuses, par exemple. Ce sujet fait d'ailleurs l'objet d'une forte coopération internationale pour contrôler les crises sanitaires. Cependant, l'accroissement des richesses augmente la demande pour une amélioration de l'environnement.

Des régimes alimentaires et des modes de consommation dans la tendance du début du siècle

La disponibilité calorique par jour et par habitant pour l'alimentation a augmenté de 818 kilocalories au niveau mondial entre le début du XXI^{ème} siècle et 2050. Les plus fortes progressions régionales ont eu lieu en Asie (+ 1000 kcal/hab./jour), en Afrique subsaharienne et en Amérique latine (+ 550 kcal/hab./jour). Le nombre d'enfants souffrant de malnutrition dans les pays en développement a été divisé par 2,5 entre 2000 et 2050.

Cette tendance mondiale à l'augmentation des consommations, poussée par une croissance économique rapide, une libéralisation du commerce et une urbanisation poussée, se double d'une augmentation de la richesse en protéines des régimes alimentaires : les populations consomment donc plus de viande et de poisson. Seules les consommations de viande des régions Afrique subsaharienne et Afrique du Nord – Moyen Orient n'ont pas augmenté sensiblement. Mais cette évolution de la consommation a favorisé la progression de l'obésité dans de nombreuses régions (Asie, Afrique) : des mesures sont prises pour encourager l'activité physique et la moindre consommation de produits gras.

Des systèmes agricoles et alimentaires qui s'industrialisent et se standardisent

Les techniques développées permettent des pratiques de cultures plus intensives, un accroissement de l'utilisation des engrais et l'utilisation d'un matériel végétal dont une proportion importante est génétiquement modifiée. Toutes les exploitations agricoles, petites comme grandes, sont devenues très mécanisées et industrielles. Les exploitants pratiquant une agriculture peu intensive, par choix de vie ou sur des terres marginales, ont un faible poids dans la production alimentaire et dans l'économie des pays. Le savoir local a souvent été remplacé par des méthodes industrielles uniformes. Cela a pour conséquence de réduire les variétés sauvages des espèces agricoles et le nombre de variétés domestiques utilisées. Ces méthodes de production ont également reposé sur le développement des infrastructures, notamment dans les pays pauvres et sur des investissements importants dans l'irrigation.

La prédominance des firmes multinationales est prégnante dans ce scénario. Les firmes multinationales ont accru leur contrôle sur la production végétale et animale notamment à travers le développement de nouvelles souches génétiques. Parallèlement, le pouvoir des marques est devenu aussi important que celui des gouvernements.

II.5.2.2 Une description possible du monde dans le scénario Agrimonde 1

Entre 2000 et 2050, l'évolution des systèmes agricoles et alimentaires dans le monde suppose :

- la capacité de développer rapidement dans toutes les régions du monde des systèmes de production diversifiés, reposant sur les principes de l'intensification écologique, adaptés aux conditions écologiques mais aussi économiques locales,
- la capacité à faire évoluer les consommations alimentaires, au travers d'une plus grande solvabilité des populations les plus pauvres, d'une réduction des inégalités d'accès à l'alimentation et d'un changement des comportements nutritionnels.

Sans une transformation de ces capacités, la trajectoire envisagée n'est pas possible ; même si un ensemble d'autres facteurs de changement est nécessaires pour faire évoluer les systèmes agricoles et alimentaires dans le sens envisagé.

Trois crises simultanées ont favorisé l'émergence du scénario Agrimonde 1 :

- Une accélération du changement climatique, palpable dès le début des années 2010,
- La multiplication de crises alimentaires, de la fin des années 2000 à la fin des années 2010 avec une forte volatilité des prix agricoles en termes réels même si la tendance de moyen-long terme est à la hausse,
- une crise énergétique, avec une pression à la hausse des prix des énergies fossiles et une forte volatilité des prix, qui n'a pris véritablement fin que vers 2040, quand le développement

d'énergies de substitution (renouvelables décentralisées et piles à combustible essentiellement), a permis de relâcher la contrainte.

Développement et migrations

Entre 2000 et 2050, la croissance économique mondiale a essentiellement reposé sur la croissance des économies en développement, elle-même fortement soutenue par le développement des secteurs agricoles et agro-alimentaires.

En 2050, l'exode rural dans les pays en développement a été ralenti à partir des capacités de développement des systèmes de production agricole dans les zones rurales. Outre la diffusion de techniques et pratiques d'intensification écologique, c'est toute une infrastructure d'aménagement du territoire et des filières qui s'est développée : développement d'infrastructures de transport et de stockage, de capacités industrielles de transformation, mais aussi des services de santé, d'éducation et de formation... Une partie des investissements nécessaires a été rendue possible par l'amélioration des revenus en zone rurale, elle-même résultant du développement de l'emploi rural, d'une meilleure répartition de la valeur ajoutée le long des filières, de la mutualisation des moyens sous des formes diverses de coopération. Toutefois, les transferts publics mis en œuvre au niveau national et l'aide internationale au développement ont été déterminants pour initier et sécuriser les investissements. Cette aide massive au développement a commencé à se développer à la fin des années 2010, suite à la multiplication des crises alimentaires (liées notamment à la volatilité des prix) ; celles-ci se traduisaient par des mouvements d'émigration interrégionale, notamment vers les pays de l'OCDE-1990, qui éprouvaient des difficultés croissantes à les contenir et à les gérer.

Dans certaines régions, les filières agricoles et agroalimentaires se sont significativement développées dans les zones périurbaines, voire urbaines, de grandes métropoles, notamment en Afrique et en Asie, où le défi de l'intensification écologique des productions s'est inscrit dans l'amélioration de l'utilisation des flux de matière et d'énergie du système urbain. Des formes innovantes d'urbanisation se sont ainsi développées.

Certes, l'urbanisation s'est poursuivie dans tous les pays qui ont vécu une forte pression démographique, et elle a souvent continué à empiéter sur les meilleures terres, même si des efforts de densification des formes urbaines ont été réalisés dans certaines métropoles des pays qui étaient émergents en 2000 (Chine, Inde, Brésil, notamment), non seulement sous l'impulsion de politiques volontaristes d'aménagement du territoire mais aussi comme résultat de la crise énergétique des années 2020-2030. Le grignotage des meilleures terres, quand il n'a pas pu être évité, s'est essentiellement traduit par une limitation de la capacité à augmenter les rendements, en repoussant les terres cultivées vers des zones de moindre potentiel agronomique.

Le développement du secteur agricole et agro-alimentaire a par ailleurs fortement limité les dynamiques d'émigration contrainte pour raisons économiques alors qu'on redoutait leur explosion dans les années 2010-2020 lors de la multiplication des périodes de crises alimentaires... Les réseaux d'interrelations nés des diasporas se sont néanmoins développés et renforcés au cours des dernières décennies et ont joué un rôle majeur dans la dynamique d'innovation, de transferts de connaissances et dans le développement des capacités d'investissements, dans tous les secteurs économiques, y compris l'agriculture.

Régulations des échanges internationaux

Entre 2000 et 2050, les régulations internationales se sont transformées notablement, notamment en ce qui concerne les échanges commerciaux internationaux de biens alimentaires. Ils sont organisés en 2050 sur le modèle d'une libéralisation régulée par une organisation internationale, l'Organisation des Nations Unies pour la Sécurité Alimentaire (UNOFS), dont l'objectif premier est de garantir la sécurité alimentaire. A cette fin, les règles mises en œuvre visent à éviter les distorsions de concurrence, mais comportent de fortes exceptions (a) pour permettre aux agricultures les moins productives de développer un marché local et (b) pour tenir compte des enjeux environnementaux. Cette organisation vise en particulier à assurer une gestion des stocks et des échanges qui protège un pays très dépendant des importations agricoles contre des menaces sur son approvisionnement. Les négociations pour aboutir à une telle construction ont été entamées suite aux crises de la sécurité alimentaire qui se sont multipliées à partir de 2008 et jusqu'à 2020. Elles ont bénéficié de l'effort de coordination des politiques publiques dans le champ de

l'environnement (changement climatique et biodiversité en particulier). La participation active des ONG d'environnement et de développement, à ces négociations, au côté des organisations professionnelles agricoles et agroalimentaires a probablement rendu possible qu'un accord entre Etats soit trouvé.

La baisse tendancielle des prix réels agricoles, caractéristique du XX^{ème} siècle, a évidemment pris fin avec la forte pression démographique couplée au décollage économique de l'ensemble des régions du Sud pendant la première moitié du XXI^{ème} siècle. Face à cette situation de prix élevés, la régulation des marchés a donc également visé à éviter la volatilité des prix, particulièrement forte au début du siècle et pour une bonne part responsable des crises alimentaires. Cela a reposé en particulier sur l'organisation des stocks régionaux et mondiaux mais aussi sur la régulation forte des marchés à terme consécutive à la refonte du système financier international. Par ailleurs, les petits exploitants ont pu bénéficier de l'augmentation des prix plutôt que de la subir, en étant de plus en plus intégrés individuellement ou collectivement aux filières agroalimentaires.

Système de connaissance, de recherche, de formation et de développement

Entre 2000 et 2050, les systèmes de recherche, formation et développement dans les domaines agronomiques et environnementaux ont réussi à faire émerger et à diffuser les innovations au service de l'intensification écologique. Ces innovations ont été en partie spécifiques aux différents systèmes agricoles et alimentaires, mais aussi adossées à des percées technologiques plus génériques. Un certain nombre des défis que la recherche a dû relever sont liés à la capacité à articuler et à compléter les orientations de recherche centrées sur les produits, assez typiques de la révolution verte, avec des recherches sur les systèmes. En effet, les gains de productivité et l'équilibre en termes de durabilité reposent sur une approche des systèmes (réintégrer le produit dans son environnement écosystémique et économique) et sur une multiplicité de critères de performance. Un défi majeur a donc consisté à intégrer une recherche amont organisée sur une base disciplinaire et une recherche sur les systèmes, interdisciplinaire.

Pour que les opportunités d'innovation émergent et se diffusent, l'innovation a été organisée sur un mode interactif et souvent participatif, permettant de valoriser autant que possible la diversité des innovations existant dans les différents systèmes de production, mais aussi chez l'ensemble des acteurs (agriculteurs, autres utilisateurs des ressources naturelles, salariés agricoles, ONGs, transformateurs,...). Il a donc fallu développer une importante capacité à mutualiser et à diffuser des connaissances sur des formes de production et d'organisation très localisées, ce qui a constitué un renversement par rapport au modèle de la révolution verte. Les systèmes d'innovation ont en conséquence été organisés à l'échelle locale, régionale, et internationale en réseau, de manière relativement subsidiaire. Cet effort concerté d'innovation à l'échelle mondiale a donc cherché à promouvoir la diversité tout en parvenant à la capitaliser et à la mutualiser, ce qui est passé par l'émergence de communautés épistémiques et de pratiques très internationalisées dans la recherche et la gestion des écosystèmes.

La part de la recherche publique a été importante dans cet effort. En particulier, un certain nombre de limites ont été mises à l'appropriation privative des résultats des recherches, parce que les recherches sur les systèmes considérés, au-delà des recherches sur les produits, ont un caractère public, et parce qu'une appropriation excessive poserait des problèmes à la dynamique d'accumulation scientifique. Mais la complexité de cette question, notamment dans un cadre de recherche participative, impliquant largement les savoirs locaux et profanes, a entraîné de longues négociations avant de parvenir à un système pertinent de protection de la propriété intellectuelle.

Des politiques agricoles et alimentaires indissociables des politiques environnementales et de développement rural

Les innovations et les transformations des systèmes agricoles et alimentaires ont été accompagnées par des politiques agricoles et alimentaires nationales et régionales. Celles-ci sont venues appuyer la constitution de marchés régionaux dans les régions d'agriculture moins productive, en mobilisant une diversité d'instruments, acceptés dans le cadre de l'UNOFS, et en particulier la question de l'accès au crédit et à l'assurance. Dans un certain nombre de pays, ces politiques agricoles ont aussi concerné la gestion du foncier, pour permettre à une population rurale en croissance de participer au développement agricole. Cela a supposé une intervention forte des

Etats, notamment pour l'attribution des nouvelles terres mises en culture. Cela a également reposé sur des innovations en termes d'appropriation foncière pour des systèmes agro-sylvo-pastoraux aux multiples usagers.

Les politiques publiques de développement, inspirées des politiques de développement régional mises en œuvre dès la fin du XX^{ème} siècle au sein de l'Union européenne, ont aussi appuyé la structuration des systèmes agricoles et alimentaires localisés et des filières, sous forme de clusters, intégrant la transformation, l'aval, et l'agrofourniture. Elles ont aussi concerné la recherche et le conseil agricole en matière d'intensification écologique. Dans les pays du Nord, mais aussi dans un nombre croissant de pays émergents, des financements publics ont été dégagés non plus en appui à la production, mais en appui à la gestion des écosystèmes agricoles, qu'il s'agisse d'instruments reposant sur la multifonctionnalité de l'agriculture, ou de rémunération des services environnementaux. Ces évolutions des politiques agricoles sont apparues comme assez naturelles à la fin des années 2000, suite au renouvellement apparu comme nécessaire des politiques d'aides à l'agriculture.

Dans de nombreux pays de toutes les régions, les politiques nutritionnelles ont été déterminantes. Elles ont cherché à orienter les évolutions des modes de consommation ; elles ont en outre encouragé la mise en place de stratégies de diversification des produits alimentaires dans l'agriculture et l'industrie agroalimentaire. Ces politiques ont continué à comporter un volet important de communication en direction des populations. De plus, elles ont fortement contraint les entreprises en matière d'information et de communication nutritionnelle.

Energie : des innovations majeures au service d'un développement durable

La raréfaction des énergies fossiles et la nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre ont conduit à infléchir notablement la demande et à renouveler l'offre énergétique par des investissements massifs dans la maîtrise de l'énergie, les énergies renouvelables et la pile à combustible. L'accent a été mis en particulier sur les opportunités de production distribuée et décentralisée de l'énergie ; la valorisation des déchets et des coproduits. Le renchérissement du coût de l'énergie a fortement touché l'agriculture et a conduit à rechercher des capacités d'autonomie des systèmes agricoles et alimentaires localisés en matière énergétique. C'est dans ce cadre, intégré le plus possible à la production alimentaire, que s'est développé l'essentiel de la production des agro-carburants dans le monde.

Au début du siècle, l'organisation de la production d'agro-carburants reposait beaucoup sur les compagnies pétrolières qui se sont dirigées dès 2020 vers les agro-carburants de 2^e génération. La nécessité d'importants investissements de capitaux, notamment dans la R&D expliquent la concentration de ce secteur, autour des grands groupes agro-alimentaires ou pétroliers. Si elle a rendu ces filières difficilement appropriables par les pays en développement, certains pays émergents ont cherché à se saisir des opportunités associées à la production d'algues pour la production d'énergie, en particulier en Asie. Ainsi, on n'a pas vu apparaître un marché mondial des agro-carburants de première génération, les deux seuls gros producteurs ayant été le Brésil et les Etats-Unis, dont la production a essentiellement alimenté le marché intérieur. La crise énergétique, qui a lourdement menacé dès 2020 l'amorce de développement de l'Afrique subsaharienne notamment, a conduit les acteurs à développer des énergies renouvelables sur une base décentralisée.

Environnement et changements globaux : un ensemble de défis favorisant le choix de l'intensification écologique

La diffusion des techniques d'intensification écologique tout au long de la première moitié du siècle a été motivée par la nécessité à la fois de faire face aux changements globaux, et de permettre que les gains réalisés en matière de productivité de la terre soient durables. Ces technologies ont en effet permis de minimiser les impacts des pratiques agricoles sur les écosystèmes et les ressources naturelles, tant au travers de la réduction des émissions de gaz à effet de serre que des autres dimensions environnementales (eau, biodiversité, sols...), et de rendre la production plus robuste aux aléas notamment grâce à la réintroduction d'une plus grande biodiversité domestique. L'accélération du changement climatique au début du siècle a constitué une incitation déterminante

au basculement technologique pour l'agriculture, pour la production d'énergie ou pour les secteurs qui en dépendent fortement.

Les impacts des systèmes agricoles et alimentaires sur les écosystèmes ont été liés de manière notable à l'augmentation des superficies cultivées au détriment des écosystèmes naturels, en particulier forestiers. Les tendances à la déforestation en Amazonie et dans le Bassin du Congo notamment, très fortes en 2000, n'ont pas pu être entièrement stoppées malgré les efforts d'intensification. Elles auraient notamment supposé des capacités de planification importantes de la gestion de ces espaces, parfois insuffisante, en particulier en Afrique subsaharienne. Mais, la demande de production alimentaire et les prix élevés ont constitué une pression de plus pour la conversion de ces espaces. La préservation de la biodiversité a donc été de pair avec une capacité à innover et à développer des systèmes de production compatibles avec le maintien d'une biodiversité importante et d'infrastructures écologiques, en particulier pour les terres mises en culture sur d'anciennes forêts. Le rôle des systèmes agro-forestiers a été majeur à cet égard, même si beaucoup d'ONG environnementales soulignent en 2050 que la perte de biodiversité a été très importante et qu'elle justifierait de sanctuariser d'avantages d'espaces de biodiversité sauvage.

Alimentation durable et diversité des régimes alimentaires

En 2050, les régimes alimentaires des différentes régions du monde ont convergé en matière d'apport calorique, pour se situer tous en moyenne régionale aux alentours de 3000 kcal/hab./jour en disponibilité moyenne. Toutefois, des spécificités culturelles importantes ont maintenu une certaine diversité dans la répartition de ces apports entre les différentes sources d'alimentation. L'augmentation du revenu n'a ainsi pas conduit à une convergence des régimes alimentaires vers le régime occidental. Si pour certaines régions, notamment l'Afrique subsaharienne, l'évolution des disponibilités alimentaires moyennes a reposé de manière essentielle sur le développement économique, elle a aussi tenu à des changements de comportements alimentaires dans la plupart des régions.

Ainsi, par exemple, dans une région comme l'OCDE-1990, on est passé d'une consommation calorique moyenne de plus de 4000 kcal/hab./jour à 3000 kcal/hab./jour. Cette véritable rupture de tendance a reposé en particulier sur un changement des modes de consommation permettant de diminuer les pertes chez l'usager ou dans les systèmes de restauration, la part de la restauration hors-foyer s'étant stabilisée à son niveau du début du siècle dans les pays riches. Cette rupture de tendance a aussi reposé sur une plus grande efficacité des politiques nutritionnelles. L'évolution des régimes alimentaires vers de moindres apports caloriques s'est faite tout en maintenant les budgets des ménages consacrés à l'alimentation au travers d'une hausse de la valeur ajoutée associée à ces produits (diversité, qualité, etc....). Cette baisse des disponibilités caloriques moyennes a aussi reflété de moindres inégalités dans les apports caloriques au sein des régions ou au sein des pays, entre des apports caloriques excessivement élevés et des apports trop faibles pour les plus pauvres.

L'augmentation de la part carnée dans les régimes alimentaires constituait une tendance lourde en 2000, mais elle s'est traduite différemment selon les régions, notamment pour le partage entre viandes rouges et viandes blanches. En Afrique, la croissance de la part carnée de l'alimentation est venue surtout de la viande blanche, et les protéines ont également été apportées par les aliments d'origine aquatique. En Asie, les régimes alimentaires sont restés fortement liés aux préférences culturelles. En Chine, les viandes rouges ont pris une part croissante dans le régime alimentaire, en lien avec la croissance du revenu, tout en restant complétées par du poisson d'eau douce ou d'eau marine. En Inde, en revanche, les régimes végétariens sont restés très importants.

La part des produits aquatiques dans la plupart des régimes a augmenté fortement, sans cependant aller jusqu'à se substituer à d'autres sources de protéines. La consommation de ces produits a augmenté en particulier en Asie et en Amérique latine où la production aquacole a pu se développer largement, et dans une moindre mesure en Afrique subsaharienne. Les produits transformés sont restés importants en aquaculture, mais la croissance de cette part dans le total a été infléchie.

Le maintien d'une certaine diversité des régimes alimentaires a aussi permis de rechercher à résoudre les problèmes de carence en micro-nutriments, notamment grâce aux apports des fruits et légumes et de la diversification des produits.

La diminution de la part des produits bruts par rapport aux produits transformés encore très marquée au début du siècle s'est ralentie : c'est là un symptôme de la diversification des systèmes

alimentaires. Elle tient aussi aux réglementations qui ont fortement contraint l'information et la communication nutritionnelles des firmes agroalimentaires dans les pays de l'OCDE-1990, les incitant finalement à limiter le degré de transformation des produits, tout en continuant à proposer des produits innovants en matière de praticité et de variété. C'est aussi un des facteurs explicatifs de la diminution des pertes chez l'utilisateur.

Des systèmes agricoles et alimentaires diversifiés

Entre 2000 et 2050, le modèle agro-industriel nettement dominant au début du siècle, s'est hybridé avec des formes plus localisées des systèmes agricoles et alimentaires, reposant non seulement sur des circuits courts, mais surtout sur la diversité du vivier de petites et moyennes entreprises agricoles et de transformation, en particulier dans les pays en développement. Dans ces pays, l'implantation des firmes multinationales agro-alimentaires et de la grande distribution s'est accompagnée de stratégies diversifiées d'alliance et d'innovation de la part du tissu industriel et agricole local. La tendance à la standardisation, l'internationalisation et la concentration autour d'un nombre réduit de firmes multinationales s'est donc plutôt infléchie, face aux stratégies nationales et régionales mises en place pour assurer la sécurité alimentaire, mais aussi comme résultat d'un impact important de la RSE (responsabilité sociale des entreprises) sur les stratégies des grandes firmes. Le secteur agro-alimentaire a en effet été particulièrement touché par le développement de la RSE. Les consommateurs des pays riches et émergents se sont en effet montrés de plus en plus concernés par les enjeux alimentaires, d'une part du fait de la dissémination du concept d'alimentation durable (la menace d'une épidémie d'obésité s'est traduite par la multiplication des campagnes d'information et d'éducation nutritionnelle, qui ont également joué sur la montée en puissance de la 'conscience environnementale' en associant santé humaine et santé environnementale). D'autre part, les « émeutes de la faim » ont marqué les consommateurs, qui ont fait pression sur les firmes multinationales agro-alimentaires, souvent via les ONG et les associations de consommateurs, quant à leur rôle particulier dans le développement et la réduction de la malnutrition.

Grâce aux stratégies de diversification, la tendance à la spécialisation sur un nombre restreint de produits primaires s'est renversée et la diversification des filières, des acteurs et des produits a donc été complémentaire de l'intensification écologique de l'agriculture, en permettant que la diversité des produits adaptés aux conditions écologiques locales puisse trouver des débouchés.

Le tissu de petites et moyennes entreprises agricoles et alimentaires, dans toutes les régions, a réussi à constituer une véritable capacité d'innovation et de création d'emploi (souvent en zone rurale), capable de concurrencer et de coopérer avec les acteurs dominants. L'expression de cette capacité d'innovation n'aura cependant été possible en 2050 qu'en maintenant une diversité des modes de gouvernance des filières et de secteurs économiques (coopératifs, partenariaux, et non seulement actionnariaux) mais aussi des territoires.

En 2050, les systèmes de production sont très diversifiés, adaptés aux conditions écologiques locales, intégrant un ensemble de fonctions agro-sylvo-pastorales et environnementales, et intégrés dans des systèmes territoriaux incluant le développement d'un ensemble d'infrastructures de transport, d'éducation, de santé, la production d'énergie, la transformation et la commercialisation, et leur articulation éventuelle avec la production de biomatériaux plutôt issus de la sylviculture, ou avec les systèmes urbains auxquels ils sont liés.

Les systèmes de culture hors-sol n'ont pas joué un rôle important, en particulier parce que l'importance des investissements nécessaires à ces structures les situait hors de portée des exploitations les plus faiblement capitalistiques.

Pour ce qui concerne la production aquatique, les prix des produits aquatiques sont restés élevés, car l'offre, même si elle a continué à se développer en aquaculture, a eu du mal à faire face à la demande. La production de la pêche a diminué comme résultat des efforts internationaux de gestion des ressources marines. Le développement de l'aquaculture posait en effet des problèmes d'espace et de conflits d'usage qui ont limité son développement en eau douce, et c'est donc sur l'aquaculture marine qu'ont reposé les attentes. Cependant ce développement a dû faire face à un ensemble de problèmes, que des efforts de recherche et d'innovation ont contribué à résoudre :

- la domestication des espèces les plus valorisées,
- les conflits d'usage de l'espace même en mer,

- la possible difficulté d'approvisionnement en alimentation animale d'origine marine, non substituée par des aliments d'origine terrestre qui seront trop chers,
- les impacts environnementaux potentiels.

Cette aquaculture marine s'est développée en particulier dans des zones tropicales particulières où l'importance de la demande et les conditions d'implantation paraissaient favorables. Ces développements ont en particulier pris la forme de systèmes d'intensification sur le littoral, qui ont cherché à s'intégrer au mieux dans les systèmes de production et de transformation alimentaires, avec un effort important de traçabilité et de réduction des impacts environnementaux. De plus, des efforts de recherche sur l'impact environnemental de grands élevages aquacoles en mer ont été mis en œuvre. La connaissance et la production des algues a représenté aussi un espace de recherche et d'innovation important : la production de biomasse pour l'énergie à partir d'algues, ou bien la production d'aliments pour l'aquaculture à partir d'algues, sont des ruptures et des innovations qui ont pu trouver dans ce scénario un contexte de développement utile.

Bibliographie : partie II

- [Agoumi, 2003] : Agoumi A., 2003, "Vulnerability of North African countries to climatic changes: Adaptation and implementation strategies for climatic change", *Developing Perspectives on Climate Change: Issues and Analysis from Developing Countries and Countries with Economies in Transition*, IISD/Climate Change Knowledge Network, 14 pp, <http://www.cckn.net/pdf/north_africa.pdf>
- [Banque mondiale, 2008] : Banque mondiale, 2008, *Rapport sur le développement dans le monde, L'Agriculture au service du développement – Abrégé*, 27p.
- [Bouwman et al, 2005] : Bouwman A.F., Van der Hoek K.W., Eickhout B., Soenario I., 2005, « Exploring changes in world ruminant production systems », *Agricultural Systems*, 84, 121-153.
- [Carpenter et al, 2005] : Carpenter S. R., Pingali P. L., Bennett E. M., Zurek M. B. (éds), 2005, *Ecosystems and Human Well-being: Scenarios, Volume 2, The Millennium Ecosystem Assessment*, Washington DC, 73-448, <<http://www.millenniumassessment.org/en/Products.Global.Scenarios.aspx>>.
- [CIHEAM, 2008] : CIHEAM, 2008, *Mediterra - Les futurs agricoles et alimentaires en Méditerranée*, Presses de sciences po, 368 p.
- [CIRAD-GRET-MAE, 2002] : CIRAD-GRET-MAE, 2002, *Mémento de l'agronome*, 1691 p.
- [Collomb, 1999] : Collomb P., 1999. *Une voie étroite pour la sécurité alimentaire d'ici à 2050*, Economica, Paris, 197 p.
- [D4E, 2007] : D4E, 2007, *Changement climatique et usages des terres : vers le modèle Nexus Land Use*, collection Etudes et Synthèses, <http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/D4E_LettreEvaluation_HS04_avril2007V3.pdf>.
- [EEA, 2007] : European Environment Agency, 2007, *Land-use scenarios for Europe: qualitative and quantitative analysis on a European scale*, EEA Technical report n°9/2007, 75 p.
- [Eshel et al , 2006] : Eshel G., Martin P. A, 2006, « Diet, Energy and global warming », *Earth interactions*, 10, 17 p.
- [Falkenmark, 1995] : Falkenmark, M., 1995, « Coping with water scarcity under rapid population growth », *Conférence des Ministres de la SADC, Pretoria, 23-24 novembre 1995*.
- [FAO, 2000] : Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture, 2000, *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2000*, Documents de travail de l'économie agricole et du développement, 32, Collection FAO : Agriculture, 313 p.
- [FAO, 2001] : FAO, 2001, "Variabilidad y cambio del clima: un desafío para la producción agrícola sostenible", *In : Proc. 16th Periodo de Sesiones FAO*, Rome, 13 pp
- [FAO, 2002] : FAO, 2002, *Agriculture mondiale : horizon 2015/2030 – Rapport Abrégé*, 97 p.
- [FAO, 2003] : FAO, 2003, *Méthodologie de la FAO pour mesurer la prévalence de la sous-alimentation*, 13 p.
- [FAO, 2004] : FAO, 2004, *L'état de l'insécurité alimentaire dans le monde 2004*, 43 p.
- [FAO, 2008] : FAO, 2008, « Hunger on the rise », *Briefing paper*, 17 september, 6 p.
- [Fischer et al., 2000] : Fischer G., Velthuisen H. van, Nachtergaele F. O., 2000, *Global Agro-Ecological Zones Assessment: Methodology and Results*, Interim Report 00-064, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, November, 338 p.
- [Fischer et al., 2001] : Fischer G., Velthuisen H. van, Nachtergaele F. O., 2001, *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century*, International Institute for Applied Systems Analysis, Vienna, 44 p.
- [Fischer et al., 2002] : Fischer G., Velthuisen H. van, Nachtergaele F. O., 2002, *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results*, Research Report RR-02-02, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, March, 154 p.
- [FRS, 2007] : Fondation pour la Recherche Stratégique, 2007, *L'eau, facteur d'instabilité en Chine – Perspectives pour 2015 et 2030*, Recherches et Documents, 53 p.
- [Griffon, 2002] : Griffon M., 2002, « Révolution Verte, Révolution Doublement Verte : Quelles technologies, institutions et recherche pour les agricultures de l'avenir ? », *Mondes en développement*, tome 30.
- [Griffon, 2006] : Griffon M., 2006, *Nourrir la planète – Pour une révolution doublement verte*, Odile Jacob, 455 p.

- [Hoffman M. et MacDonald L., 2007] : Hoffman M. et MacDonald L., 2007, *World Agriculture Faces Serious Decline from Global Warming*, Center for Global Development – Peterson Institute for International Economics, <http://www.petersoninstitute.org/publications/newsreleases/cline_global-warming.pdf>.
- [Hoogwijk et al., 2003] : Hoogwijk, M., Faaij A., Eickhout B., de Vries B., Turkenburg W., 2003, *Global potential of biomass for energy under four land-use scenarios - Part A: the geographical potential, these proceedings*. Disponible : <http://www.bioenergytrade.org/downloads/od5.1wbc2imagebmoniquepaper.pdf>
- [Horrigan et al., 2002] : Horrigan L., Lawrence R. S., and Walker P., 2002, « How sustainable Agriculture can address the environmental and human health harms of Industrial agriculture », *Environmental Health perspectives*, 110 (5), 445-456.
- [IAASTD, 2009] : IAASTD – *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and technology for Development*, à paraître en 2009, éd. Island Press, < <http://www.islandpress.org/iaastd>>.
- [IPCC, 2007a] : IPCC, 2007, *Climate Change 2007: Synthesis Report*, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.(eds.)], Geneva, Switzerland, 104 p.
- [IPCC, 2007b] : IPCC, 2007, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- [IPCC, 2007c] : IPCC, 2007, *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976 p.
- [Johnson et al., 2008] : Johnson F. X., Chen Y. and Zuzarte F., 2008, *Biofuels, land use, and sustainable development in Asia and Africa*, Environment and poverty times, 20 p.
- [Jones, 2004] : Jones, T.W., 2004, *Using Contemporary Archaeology an applied anthropology to understand food loss in the American food system*, Bureau of Applied Research in Anthropology, 9 p.
- [Kaas, 2006] : Kaas, R., 2006, "The seaweed resources of France", in *World Seaweed Resources an Authoritative Reference System 2006*, edited by A.T. Critchley, M. Ohno, D.B. Largo.
- [Kader, 2005] : Kader A.A., 2005, "Increasing food availability by reducing post harvest losses of fresh produce", *Proceedings of the 5th International Postharvest Symposium*, Mencarelli, F. and Tonutti P., Acta Horticulturae, 682, ISHS.
- [Kantor et al, 1997] : Kantor L., Lipton K., Manchester A., Oliveira V., 1997, "Estimating and adresssing America's food losses", *Food review*, Jan-Avr, 2-12.
- [Lahmar, 2006] : Lahmar R., 2006, « Opportunités et limites de l'agriculture de conservation en Méditerranée. Les enseignements du projet KASSA », In Arrue Ugarte J.L., Cantero Martínez C. (eds.), *Troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct*, Zaragoza, CIHEAM-IAMZ, 11-18 (Options Méditerranéennes, Série A. Séminaires Méditerranéens, 69).
- [Olshansky et al, 2005] : Olshansky SJ, et al., 2005, « A Potential Decline in Life Expectancy in the United States in the 21st Century », *The New England Journal of Medicine*, 352 (11), 38-45.
- [ONU, 2006] : ONU, 2006, *World Population prospects: the 2006 revision*.
- [Parry et al., 2004] : Parry M.L., Rosenzweig C., Iglesias A., Livermore M., Fischer G., 2004, « Effects of climate change on global food production under SRES - emissions and socio-economic scenarios », *Global Environmental Change*, 14, 53–67.
- [Petit-Maire et al., 1999] : Petit-Maire N., Bouysse P., Beaulieu J.-L. de, Boulton G., Iriondo M., Kershaw P., Lisitsyna O., Partridge T., Pflaumann U., Sarnthein M., Schulz H., Soons J., Van Vliet-Lanoë B., Yan B., Guo Z., Zijp M. van der, 1999, *Cartes des environnements du monde pendant les deux derniers extrêmes climatiques* (échelle 1/25 000 000), Co-publication CGCM-ANDRA.
- [Pimentel, 1996] : Pimentel D. et Pimentel M., 1996, *Food, energy and society*, CRC Press.
- [Popkins, 2008] : Barry M. Popkin, 2008, « Will China's Nutrition Transition Overwhelm Its Health Care System And Slow Economic Growth ? », *Health Affairs*, 27 (4), 1064-1076.
- [Rastoin, 2007] : Rastoin J.-L., 2007, "Risks and food safety in a context of globalization : towards a political and strategic approach", in Hervieu B. (ed.), *Mediterra, Identity and Quality of Mediterranean Foodstuffs*, les Presses de Sciences Po, Paris, 27-68.
- [Romanenkovl et al., 2003] : Romanenkovl V. A., J. U. Smith, P. Smith, O. D. Sirotenko, D. I. Rukhovitch, I. A. Romanenko, 2003, « Constructing regional scenarios for sustainable agriculture in European Russia and Ukraine for 2000 to 2070 », in *Regional Environmental Change*, Springer Berlin / Heidelberg, 93-104.

- [Rosegrant et al., 2001]** : Rosegrant Mark W., Paisner Michael S., Meijer Siet, Witcover Julie, IFPRI, 2001, *Global food projections to 2020 – emerging trends and alternative futures*, 206 p.
- [Rosegrant et al., 2002]** : Rosegrant Mark W., Cai Ximing, and Cline Sarah A., IFPRI-IWMI, 2002, *World Water and Food to 2025: Dealing with scarcity*, Library of Congress Cataloging-in-Publication Data, 322 p.
- [Roy, 2007]** : Roy L., 2007, La région FSU (Former Soviet Union) / Ex-URSS, 3ème Composante du scénario AGRIMONDE : Dynamiques de la production, rapport de stage, Université Paris-Dauphine – Unité Prospective INRA, 59 p.
- [Smil, 2000]** : Smil V., 2000, *Feeding the world : A challenge for the twenty-First century*, MIT press, Cambridge, MA, USA.
- [Steinfeld et al, 2006]** : Steinfeld, H., P. Gerber, T., Wassenaar, V., Castel, M. Rosales, C. De Haan, 2006, *Livestock's long shadow*, Environmental Issues and Options, FAO, Rome, 390 p.
- [Thornton et al., 2006]** : Thornton, P.K., P.G. Jones, T.M. Owiyo, R.L. Kruska, M. Herero, P. Kristjanson, A. Notenbaert, N. Bekele and Co-authors, 2006, *Mapping Climate Vulnerability and Poverty in Africa*, Report to the Department for International Development, ILRI, Nairobi, 200 pp.
- [Von Braun, 2005]** : Von Braun J., Rosegrant M. W., Pandya-Lorch R., Cohen M. J., Cline S. A., Brown M. A., Bos M. S., 2005, IFPRI, 2005, New risks and Opportunities for Food Security – Scenario Analyses for 2015 and 2050, *2020 Discussion paper*, 39, 32 p.
- [Watkins et al., 2005]** : Watkins K., Fu H., Fuentes R., Ghosh A., Giamberardini C., Johansson C., Kuonqui C., Montes A., Stewart D., Ugaz C. et Yaqub S., 2005, Inégalité et développement humain, *In : Rapport mondial sur le développement humain 2005 - La coopération internationale à la croisée des chemins - L'aide, le commerce et la sécurité dans un monde marqué par les inégalités*, PNUD, Chapitre 2, 73-448, Economica, Paris.
- [Watson, 2006]** : Watson R. T., 2006, « Avant-Propos », in *Ecosystems and Human Well Being*, volume 1, The Millennium Ecosystem Assessment, Island press, Washington DC.
- [Wirsenius, 2003]** : Wirsenius S., 2002, « Efficiencies and biomass appropriation of food commodities on global and regional levels », *Agricultural Systems*, 77, 219-255.
- [WRAP, 2007]** : WRAP, 2007, *Understanding Food Waste*, Food Waste Report, 28 p.
- [Zimmer et Renault, 2003]** : Zimmer D. and Renault D., 2003, "Virtual Water in Food Production and Global Trade: Review of Methodological Issues and Preliminary Results". *In : Value of Water Research Report Series No. 12*, IHE, 93-110.

PARTIE III
REGARDS SUR LES ENJEUX RELATIFS AUX OPTIONS
TECHNOLOGIQUES, AUX COMPORTEMENTS ALIMENTAIRES
ET AUX ECHANGES

Les scénarios détaillés dans la partie précédente représentent deux trajectoires possibles du monde parmi la multiplicité des futurs possibles. Leur vertu est principalement de mettre l'accent sur l'importance des changements, des inflexions et des transformations qu'il est utile d'envisager pour les systèmes agricoles et alimentaires du monde d'ici 2050. La partie précédente montre bien que ces transformations ne sont pas indépendantes les unes des autres, que les évolutions futures de la consommation et celles de la production interagiront quel que soit le scénario, et que les changements doivent être envisagés dans toutes leurs dimensions techniques, sociales, économiques et politiques. Il faut donc penser ensemble toutes ces transformations, de manière cohérente. Après avoir construit deux scénarios illustrant la variété des changements possibles et leurs interdépendances, il s'agit, dans cette partie conclusive, d'aborder de manière synthétique les questions suivantes : Quels changements sont possibles ? Quels changements sont nécessaires ? Quels changements sont souhaitables ?

L'exploration prospective présentée dans la partie précédente ne permet généralement pas de répondre de manière univoque à ces questions, sauf dans le cas où on peut démontrer qu'un ensemble d'hypothèses de changement n'est pas cohérent, et donc pas possible. En revanche, les scénarios analysés permettent de structurer et d'apporter des arguments pour discuter des options les plus souhaitables, des options nécessaires ou des options les plus réalisables. Ils invitent ainsi à la discussion sur les évolutions futures et peuvent également soulever de nouvelles questions, qui pourront faire l'objet d'approfondissements par la recherche.

A ce titre, cette dernière partie ne constitue pas une synthèse qui récapitulerait des résultats et des recommandations : elle constitue une ouverture et propose, à partir de quelques points d'entrée majeurs, d'utiliser les scénarios présentés dans ce rapport pour structurer une discussion d'ordre stratégique sur l'avenir des systèmes agricoles et alimentaires du monde. Pour tirer les enseignements principaux de l'analyse prospective réalisée et notamment de la confrontation des deux visions du devenir des agricultures et alimentations du monde sous-tendues par les scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1, cette partie présente donc sur trois points principaux une lecture et une interprétation possible des scénarios présentés précédemment. Sur chacun des points, cette interprétation ne correspond pas nécessairement à un consensus du groupe de travail ; ces regards portés sur les scénarios mettent en évidence de quelle manière l'exploration des scénarios réalisée dans ce rapport renouvelle le débat ou soulève de nouvelles interrogations.

D'autres angles d'attaque peuvent être mobilisés pour interpréter les scénarios, mais les trois points suivants semblent être les plus porteurs d'enseignements :

- quelles sont les options d'intensification écologique, et les changements non seulement techniques, mais aussi sociaux et territoriaux qu'elles impliquent (III.2) ?
- quelles sont les options et les marges de manœuvre en termes de comportements alimentaires (III.3) ?
- quelles sont les perspectives en matière d'échanges internationaux (III.4) ?

Au préalable, sont présentées des pistes d'approfondissements à la fois pour l'analyse des deux scénarios et pour la méthodologie employée (III.1).

III.1 Pistes d'approfondissement

Bruno Dorin, Tristan Le Cotty, Sébastien Treyer

Au cours de l'exploration prospective présentée dans la partie II, un certain nombre d'hypothèses n'ont pas été explorées de manière approfondie, mais l'analyse a cependant révélé des pistes d'approfondissement particulièrement importantes, qui sont présentées ici.

Les premières pistes d'approfondissement visent à améliorer les hypothèses quantitatives faites grâce au module Agribiom et leur mise en discussion avec le groupe de travail, pour mieux explorer certaines dimensions essentielles du système considéré. Certaines de ces pistes d'amélioration du dispositif prospectif constituent de véritables questions de recherche.

Les secondes pistes concernent plus généralement des questions que l'exploration prospective a permis de mettre en évidence, sans qu'une exploration détaillée ait pu être réalisée, et qui invitent à des travaux de recherche au delà de la seule analyse prospective.

III.1.1 Pistes pour des approfondissements dans la quantification des hypothèses prospectives et leur mise en discussion

Quel impact du changement climatique sur le potentiel cultivable et les rendements ?

Lors de cette exploration prospective, les hypothèses sur les surfaces cultivées en 2050 ont été construites sur la base de données sur les potentiels cultivables (issues de l'approche GAEZ¹¹⁹ présentée dans le chapitre I.2 [Fischer et al., 2002]) qui n'intègrent pas les impacts possibles du changement climatique. Ceci a constitué une limite claire dans la prise en compte des effets du changement climatique. Des travaux sont en cours à la FAO et à l'IIASA pour réaliser cette étape complémentaire de quantification du potentiel cultivable futur sous contrainte climatique, selon différents scénarios d'émissions de gaz à effet de serre, et ils pourront être intégrés de manière plus précise au module quantitatif. Cette évaluation du potentiel cultivable passe par des hypothèses sur les technologies agricoles mobilisées ; il faudra donc en particulier veiller à tenir compte des hypothèses issues des scénarios socio-économiques d'émissions de gaz à effet de serre et des hypothèses techniques dans l'utilisation et l'interprétation possible des données produites par la démarche GAEZ.

De manière plus générale, la question de l'impact du changement climatique sur les sols d'une part, et sur les rendements potentiels d'autre part, fait l'objet de travaux dont les résultats sont actuellement plutôt en controverse sur l'ampleur des réductions ou des augmentations de rendements potentiels (voir les encadrés présentés dans la section II.2.2.2), certains envisageant des réductions très importantes des rendements agricoles. L'approfondissement de cette question, et en particulier de la manière dont peuvent être articulés les impacts des changements climatiques et les progrès technologiques dans ce type d'évaluations, constituera un élément important d'avancée pour une démarche comme Agrimonde.

Quelles évolutions futures de la productivité du travail ?

Le module quantitatif permet de visualiser les évolutions passées de la productivité du travail et de la main d'œuvre agricole dans chaque pays et dans chaque grande région. Ces données n'ont cependant pas fait l'objet d'un travail d'interprétation spécifique par le groupe de travail, qui aurait permis de formuler des hypothèses sur ces variables. D'un point de vue qualitatif, un approfondissement spécifique sur ce thème pourrait réinterroger la cohérence des deux scénarios et les systèmes techniques de production sur lesquels ils reposent en s'intéressant aux besoins en main d'œuvre dans les deux options de développement technologique. Ces besoins futurs de main d'œuvre pourront être mis en regard des tendances passées sur la productivité, et de la possibilité de certaines inflexions ou ruptures. La comparaison de ces courbes d'évolution passées et futures entre les différentes régions du monde permettrait également de donner des éléments

¹¹⁹ « Global Agro – Ecological Zones », opération de recherche de l'IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) et de la FAO visant à déterminer les potentiels cultivables à l'échelle globale.

d'appréciation de la plausibilité et de la cohérence des deux scénarios en matière d'emploi agricole et de productivité du travail. Cette réflexion devrait en outre être mise en cohérence avec les hypothèses faites en matière de démographie dans les espaces concernés.

D'un point de vue quantitatif, une certaine endogénéisation de la productivité du travail pourrait également être recherchée pour mieux tenir compte des interactions entre ces différentes variables mettant en jeu l'emploi et la main d'œuvre.

Quelles représentations des systèmes d'élevage : fonctions de production animale, progrès techniques, et échanges internationaux ?

Lorsque l'on cherche à établir l'équilibre alimentaire mondial par la confrontation des productions et des utilisations de calories, la transformation des calories végétales destinées à l'alimentation animale en calories animales consommables par l'homme apparaît comme un élément crucial de la réalisation ou non de l'équilibre. C'est d'autant plus important lorsque l'on cherche à mesurer l'incidence des changements de régimes alimentaires sur l'utilisation des ressources végétales et des terres.

Ainsi, en OCDE-1990, la majorité des calories végétales utilisées (hors fourrages et pâtures) sert à l'alimentation des animaux. A l'échelle mondiale, plus du tiers des calories végétales est utilisé pour l'alimentation animale. Il est donc essentiel d'appréhender le plus justement possible la transformation des calories végétales en calories animales, et mieux encore, la technologie de production animale dans son ensemble.

Les fonctions de production que nous avons proposées pour aller dans ce sens restent rudimentaires, et ne permettent pas réellement d'analyser cette technologie. Elles sont conçues pour être utilisées à l'échelle régionale et ne peuvent rendre compte de la diversité des systèmes d'élevage et de leurs interactions avec les écosystèmes. Elles ont essentiellement une fonction *ad hoc*, qui est de donner un mécanisme assez robuste et conforme aux observations passées pour « prédire » la quantité de calories animales produites dans chaque région étant données les calories végétales utilisées et la surface de pâture dans la région.

Malgré leur simplicité, elles permettent d'entrevoir certaines pistes de réflexion. Comme la transformation des calories végétales en calories animales se fait différemment selon la région (voir figure 5), il n'est pas équivalent d'échanger des calories animales ou des calories végétales. Ainsi, du point de vue – partiel – de l'équilibre ressources - emplois, il est plus économe en calories végétales de privilégier les productions animales dans les régions où cette transformation est la plus efficace, quitte à accroître les échanges de calories végétales pour l'envisager¹²⁰.

Par ailleurs, cette transformation ne se fait pas à taux moyen constant. A l'exception de l'Asie dans la période récente, le nombre de calories végétales (hors fourrage) nécessaires pour produire une calorie animale augmente dans toutes les régions du monde et à un rythme régulier depuis 1960 (voir figure 5). Par exemple, en Afrique du Nord - Moyen Orient, il fallait en moyenne moins de 3 calories végétales (hors fourrage) pour produire une calorie animale, il en faut aujourd'hui pratiquement 5. Cette évolution de la transformation des calories végétales hors fourrage est due à un ensemble de facteurs, notamment la diminution relative des apports caloriques liés aux fourrages ou aux espaces naturels. Le même effet (diminution de la productivité moyenne de l'alimentation concentrée) s'observe encore plus nettement dans la transformation des protéines végétales en protéines animales (figure 6 et 7). Ainsi, les effets positifs liés aux progrès techniques (progrès génétiques et vétérinaires, amélioration des rations, conditions d'élevage, etc.) peuvent être contrebalancés par d'autres effets liés à l'évolution des systèmes d'élevage dans leur ensemble.

Si les fonctions de productions multilinéaires permettent d'intégrer ce type d'effet, elles ne permettent n'y d'en intégrer les causes, ni de distinguer les systèmes d'élevage plus ou moins efficaces dans la transformation.

Il serait donc important de mieux prendre en compte les évolutions possibles des systèmes d'élevage et de modéliser leurs propriétés à un niveau plus fin permettant une meilleure intégration des connaissances zootechniques, écologiques, économiques et sociologiques dans les modélisations agrégées. Les quantités et qualités des fourrages notamment jouent probablement un

¹²⁰ Cela suppose que les calories végétales soient « équivalentes » à tout point de vue, ce qui est une approximation importante.

rôle important dans la conversion des calories de concentrés. Plus généralement, la prise en compte de la conduite des troupeaux et les modes d'élevage pourraient apporter beaucoup à la compréhension et la modélisation.

Evaluer quantitativement la durabilité des scénarios en termes d'eau et d'énergie ?

Dans le cas du scénario Agrimonde 1, une analyse qualitative des possibilités d'accroissement des surfaces irriguées dans les différentes régions a conduit dans l'ensemble à ne pas faire reposer de manière importante les évolutions futures sur les possibilités d'irrigation, notamment parce que les potentiels d'irrigation futurs semblent très réduits à cause des impacts possibles du changement climatique. Les efforts d'intensification dans ce scénario reposent davantage sur une meilleure gestion du cycle de l'eau dans les écosystèmes que sur davantage d'irrigation. La capacité des ressources en eau existantes à supporter ce scénario n'a en conséquence pas été chiffrée de manière précise, puisque cela ne constitue pas un élément fort de plausibilité du scénario.

En revanche, la comparaison avec le scénario Agrimonde GO incite à mettre en évidence, par des ordres de grandeur chiffrés, les impacts comparés des deux scénarios en matière de pression sur les ressources en eau, qu'il s'agisse de prélèvements ou de pollutions des eaux. Des tables de calcul développées à l'IWMI¹²¹ offrent de potentielles pistes d'approfondissement pour réaliser une telle évaluation concernant l'irrigation.

La dépendance énergétique des systèmes envisagés devrait aussi faire l'objet d'une évaluation quantifiée, parce qu'elle peut constituer un élément de différenciation important entre les différentes trajectoires considérées. La place de la mécanisation dans les systèmes passés et existants pourrait constituer une base de travail intéressante, et le module quantitatif permet d'y accéder. Une lecture conjointe de la productivité du travail et de la mécanisation pourrait constituer un élément d'analyse important pour mettre en évidence des différences fondamentales entre trajectoires d'intensification alternatives. Mais la formulation d'hypothèses futures sur la dépendance énergétique des systèmes de production innovants considérés dans chaque scénario nécessite aussi de tenir compte de ruptures technologiques possibles par rapport aux systèmes techniques actuels ; ces hypothèses ne sont donc pas entièrement contraintes par les tendances passées. Cette évaluation de l'indépendance ou de l'autonomie énergétique des systèmes de production agricoles reste par conséquent à approfondir.

Arbitrer entre transparence et précision de ces quantifications

Un des objectifs de la mobilisation du module quantitatif pour la plateforme Agrimonde est de réussir à proposer des quantifications d'hypothèses suffisamment simples et transparentes pour qu'elles puissent être mises en discussion de manière explicite, et qu'elles puissent servir de base à une discussion du scénario proposé. Les approfondissements de la quantification évoqués plus haut devraient donc être conçus au service d'une meilleure mise en discussion des différents scénarios envisagés, et donc avec le degré de sophistication suffisant pour éviter d'être simpliste mais en réussissant à rester transparent.

III.1.2 Enjeux et questions soulevés par l'exploration prospective qui appellent des approfondissements et des travaux de recherche

Productions aquatiques

Les productions aquatiques jouent un rôle important dans les scénarios explorés ici, car elles constituent une part croissante de l'apport protéique dans la plupart des régions, mais elles ne jouent pas pour autant un rôle déterminant dans la comparaison entre les deux scénarios.

Dans le scénario Agrimonde 1, l'aquaculture marine semble être une des voies à explorer pour soulager la pression sur les ressources terrestres, tant pour la production alimentaire que pour la production éventuelle d'énergie à partir de biomasse algale, et ce notamment dans des zones

¹²¹ International Water Management Institute : notamment le modèle PODIUM (Policy Dialogue Model).

tropicales particulières où l'importance de la demande et les conditions d'implantations paraissent favorables. Ces hypothèses demanderaient encore à être approfondies.

Un certain nombre de questions restent posées pour rendre plausible ce développement de l'aquaculture parmi lesquelles :

- la possibilité de domestication des espèces les plus valorisées,
- la possibilité de conflits d'usage de l'espace même en mer,
- la possible difficulté d'approvisionnement en alimentation animale d'origine marine, si elle n'est pas ou pas complètement substituée par des aliments d'origine terrestre,
- l'éventualité d'un fort accroissement de la part des productions aquatiques utilisées en alimentation animale terrestre,
- les impacts environnementaux potentiels de cette aquaculture marine, etc.

Chacune de ces questions invite à un approfondissement en matière de recherche et d'innovation.

Valorisations non alimentaires des produits agricoles

Les scénarios présentés dans la partie II abordent de manière qualitative la question des valorisations non alimentaires de l'agriculture, et en particulier celle des agro-carburants, sur laquelle un certain nombre d'ordres de grandeur chiffrés sont proposés.

Les ordres de grandeur envisagés comme plausibles en matière d'utilisation de biomasse agricole pour les agro-carburants n'aboutissent pas en 2050, dans les deux scénarios envisagés, à une ponction majeure sur la capacité de production alimentaire. Il en est de même pour les autres valorisations non alimentaires de la biomasse agricole, qu'il s'agisse des filières déjà existantes ou d'éventuelles nouvelles filières, par exemple de « chimie verte ».

Trois types de questions devront faire l'objet d'approfondissements et de réflexions qualitatives :

- A quelles conditions pourrait se développer un scénario où les surfaces cultivables dédiées à des valorisations non alimentaires prendraient une ampleur telle que les surfaces disponibles pour la production à vocation alimentaire seraient notablement amoindries ?
- Comment tenir compte dans la description du monde de 2050 de filières de valorisation de la biomasse agricole qui n'existent pas encore aujourd'hui ?

S'il paraît raisonnable d'envisager qu'à 2050 les agro-carburants de première génération auront été supplantés par les biocarburants de deuxième génération, deux types d'interrogations restent cependant pendantes :

- Quelle part des productions agricoles pourraient encore être utilisées en 2050 dans les filières d'agro-carburants de première génération qui auront été développées et soutenues par des politiques publiques au début des années 2000-2010 ?
- Les surfaces forestières ou agricoles dédiées aux productions de deuxième génération pourraient-elles être d'un ordre de grandeur tel qu'il remette en cause les bilans de productions alimentaires présentés dans ces scénarios, ou bien tel qu'il renforce de manière importante l'impact en matière de pression sur l'environnement et la biodiversité ? Le développement de l'utilisation des résidus de culture ne risque-t-il pas de mettre en danger la fertilité des sols ?

Agriculture urbaine et périurbaine

L'exploration prospective réalisée invite à imaginer et à tenir compte de manière importante de nouvelles formes d'agriculture en ville, y compris les filières et les circuits de distribution qui y sont liées, en zone urbaine ou péri-urbaine, au Sud comme au Nord. C'est là une nouvelle question prospective à creuser, en lien avec les nouvelles formes que pourraient prendre les villes elles-mêmes, et la structuration économique et sociale des espaces urbains dans la diversité des régions.

La place future des cultures hors-sol a été peu prise en compte dans cette exploration prospective, et il est probable que cela constituerait un élément important dont il faudrait tenir compte pour l'agriculture en ville. Mais d'autres éléments importants peuvent être mentionnés :

- l'impact environnemental et sanitaire des systèmes d'agriculture ou d'élevage envisagés en ville,

- le rôle des migrations pendulaires entre villes et campagnes, qui peuvent constituer un lien entre les différents systèmes agricoles et économiques, et pourraient conduire à reconsidérer et à formuler différemment les questions d'exode rural, en mettant éventuellement en évidence des bénéfices financiers, d'échange d'information ou de structuration de nouvelles filières, qui pourrait émerger de telles situations de migrations.

III.2 Options pour l'intensification écologique : changements techniques, sociaux et territoriaux

Bernard Hubert, Tévécia Ronzon

Il est clair que dans l'état actuel des choses la notion d'intensification écologique recouvre plutôt des options techniques à développer qu'un corpus de procédés établi et directement diffusable. Il peut alors très vite apparaître que ces options dites techniques, pas moins que d'autres choix techniques dans d'autres domaines que l'agriculture, recouvrent des options sociales, économiques, spatiales, politiques qui ne sont pas anodines et n'ont probablement pas encore été suffisamment explorées. On sait par contre assez bien quelles sont les options qui ont accompagné le processus de rationalisation ('modernisation') des agricultures nord-américaines et européennes, puisque leurs effets et conséquences sont désormais connus, même s'ils n'étaient pas tous ni clairement énoncés ni d'ailleurs délibérément intentionnels. Cette connaissance nous permet toutefois de clarifier quelles sont les conditions qui doivent accompagner le choix de telle ou telle option... C'est alors avec ce bagage et sur la base de l'ouvrage de Michel Griffon, *Nourrir la planète*, qui donne une illustration d'un scénario d'intensification écologique, que le groupe de travail Agrimonde a choisi d'explorer les possibilités d'une intensification dite écologique et les différentes réalités que cela peut recouvrir selon les régions ou les écosystèmes considérés [Griffon 2006].

De l'intensification écologique en tant qu'option technique...

Tout d'abord, revenons à l'intensification écologique, proprement dite, en tant qu'option technique qui se conçoit, comme une alternative au développement tendanciel d'une agriculture reposant sur la substitution du capital au travail grâce à la mécanisation et à un usage important d'énergie (d'origine fossile), ainsi que sur une certaine artificialisation des conditions de production visant à se dégager des contraintes des processus naturels par l'apport d'intrants manufacturés (fertilisants, produits phytosanitaires, aliments du bétail, etc.), la sélection génétique de variétés végétales (distinctes, homogènes et stables) et de souches animales améliorées, etc. Il s'agirait alors de revenir sur certains de ces choix pour concevoir une agronomie qui soit plus proche d'un pilotage des processus écologiques que de la recherche d'une maîtrise la plus avancée possible du processus de production. Ce nouvel agenda aligne ainsi une moindre consommation énergétique de produits d'origine fossile, une meilleure valorisation de la capacité des sols à mobiliser la matière organique par des associations et des successions culturales raisonnées et par de nouvelles techniques de travail du sol, une lutte contre les ravageurs fondée sur la protection intégrée (utilisation d'auxiliaires des cultures, mélanges d'espèces et de variétés, organisation des parcelles et du territoire, successions végétales, etc.), une plus grande flexibilité et adaptabilité des espèces cultivées ou élevées, ainsi qu'une meilleure résistance aux maladies, en s'appuyant sur des populations diversifiées et non pas sur des génomes homogènes, etc. Bien sûr, tout cela n'est pas encore bien établi et nécessite recherches et expérimentations, tant scientifiques que paysannes... Il ne s'agit pas non plus pour ceux qui la prônent de revenir à une agriculture archaïque, mais de s'appuyer, quand cela est possible sur les avancées techniques susceptibles de renforcer de tels objectifs : sélection assistée par marqueurs, biotechnologies, techniques de travail du sol, adéquation des paquets techniques aux conditions écologiques micro-locales, mécanisation et traction animale, etc. Il est difficile aujourd'hui – sans un inventaire précis des résultats des expériences déjà disponibles – de savoir quels rendements peuvent être obtenus. Le scénario Agrimonde 1 propose des objectifs à atteindre, en deçà desquels de telles orientations resteront totalement utopiques... Les options sont ouvertes, les principes commencent à être connus, les impératifs environnementaux se précisent, la menace du changement climatique se dessine, les savoirs sont déjà là pour certains – et pas seulement dans le monde de la recherche –, certains programmes nationaux (comme le programme SYSTERRA de l'ANR) ou internationaux (comme certains des Challenge Programmes du CGIAR ou comme l'y invite l'IAASTD) y incitent vigoureusement... d'autant que de telles nouvelles options techniques comportent des dimensions sociales, économiques et spatiales non négligeables.

... à l'intensification écologique en tant qu'option d'organisation sociale et spatiale

La question de la frontière agraire, qui paraissait un peu oubliée, revient à l'ordre du jour, de manière renouvelée. À la première frontière, bien connue depuis le Néolithique, celle de la défriche et de la mise en culture des « terres vierges », s'en est inexorablement ajoutée une deuxième depuis un peu plus d'un siècle, celle du développement urbain et des infrastructures. Là, les réglementations et le marché foncier font la loi, et il est bien rare que la valorisation agricole puisse faire front aux autres spéculations ou décisions d'intérêt général. Enfin, les nouveaux enjeux environnementaux et sociaux poussent à considérer une troisième frontière, interne au monde agricole et reposant, celle-ci, sur la manière même de concevoir les pratiques de culture et d'élevage.

La question du développement urbain a été particulièrement abordée par le groupe de travail pour les régions Asie et Afrique du Nord – Moyen Orient dans le scénario Agrimonde 1. Effectivement, en 2050, ces deux régions combineront les caractéristiques d'avoir atteint les limites de leur potentiel cultivable et d'avoir connu une véritable explosion démographique, probablement motrice d'une urbanisation forte, autant dans les espaces ruraux qu'aux abords des grandes villes. Il en résultera alors une concurrence accentuée entre espace urbanisé et espace agricole pour les ressources foncières et naturelles (eau potable, bois de chauffe...), sans compter les tensions sociales qui peuvent en découler. Il est donc probablement temps de raisonner autrement ce que serait une véritable agriculture périurbaine et urbaine, qui ne serait pas une concurrente, vaincue d'avance, de l'extension résidentielle ou industrielle. À l'inverse, elle contribuerait au maillage du paysage des villes par des espaces dédiés à la production, non sans poser toutefois des questions à traiter sur la réhabilitation et la conservation des sols pollués par des déchets et des installations antérieures, voire tout simplement soumis aux effets et conséquences des activités urbaines diverses. Elle ne serait pas non plus sans interpeller les dimensions organisationnelles de la mise en marché et de la distribution des biens alimentaires, par la création de circuits courts, échappant pour la plupart aux opérateurs habituels de leur commercialisation, soit par le développement de marchés 'traditionnels' de proximité reliant ainsi consommateurs urbains et producteurs du voisinage, soit même, ainsi qu'on le constate en Europe, dans certaines villes d'Amérique du Nord, ou dans des pays émergents comme le Brésil, de nouvelles formes de conventionnement direct entre des groupes de consommateurs et des producteurs sur la base de cahiers des charges et de prix garantis définis à l'avance conditionnant un engagement d'approvisionnement des ménages concernés sur toute une campagne de production...

La première frontière, celle de la défriche et de l'emprise sur la nature, est l'objet de deux conceptions se différenciant essentiellement par la capacité à préserver les écosystèmes et leurs ressources naturelles et par la manière avec laquelle cette question est abordée dans l'espace.

- D'un côté, les défenseurs de l'intangibilité de cette frontière le font de nos jours au nom de la déclinaison locale d'enjeux environnementaux globaux. Les questions de biodiversité, de protection des sols, de préservation des ressources en eau et de leur qualité, le ralentissement du changement climatique par la fixation du carbone, justifient en effet que l'on arrête de détruire les grandes forêts de la planète (Amazonie, bassin du Congo...) et de drainer les zones humides pour leur « mise en valeur agricole »¹²². Pour ceux qui portent ces idées, il faut donc alors intensifier sans toucher à la frontière de façon à protéger des espaces sanctuarisés, et développer si possible une agriculture plus « propre » sur les espaces qui lui sont dédiés, à l'image de l'éco-agriculture prônée par l'UICN, par exemple. Selon ce point de vue, les services des écosystèmes contribueront, en partie, à assurer une compensation et une garantie vis-à-vis de quelques grands équilibres planétaires, dans l'hypothèse de dérapages techniques divers (contaminants biologiques et abiotiques) sur l'espace agricole, face au défi technologique que représente le fait de nourrir, à l'horizon de 2050, 9 milliards d'habitants sur la planète. Même s'il ne s'agit pas aujourd'hui de présenter cette frontière comme une réserve foncière, la question se posera de toute évidence pour la taïga, quand la disparition du permafrost attisera les convoitises pour la « mise en valeur » de ces sols regorgeant d'une matière organique stockée depuis les dernières glaciations et qui ne demande qu'à libérer – au passage - du CO₂...
- Pour les tenants de l'agro-écologie de l'Ecole californienne, la réponse relève, en quelque sorte, de l'identification d'une troisième frontière, interne celle-ci au monde agricole, qui

¹²² sauf éventuellement compensation comme cela se pratique aux États-Unis dans le cadre du *mitigation banking*.

supposerait de revisiter les conceptions mêmes et les pratiques de l'activité agricole. Ils invitent ainsi à penser autrement cette tripartition du monde entre la ville où se concentre la grande majorité de la population, l'espace rural dédié à la production agricole ou forestière et les espaces naturels garants d'une offre de nature comme de la préservation des grands équilibres planétaires. Il s'agit alors de concevoir une diversité et une complémentarité de formes d'agriculture reposant sur des savoirs et des pratiques, des modèles techniques et des circuits de commercialisation qui se singulariseraient selon les productions, les situations géographiques, les formes d'action publique, les valeurs culturelles, les engagements sur un mode individuel ou collectif. De telles agricultures pourraient mailler les espaces urbains, pénétrer les lisières forestières pour y introduire des mosaïques écologiques inédites, inventer des façons de produire davantage inspirées de l'écologie que de la chimie. De telles agricultures réhabiliteraient la diversité et la variabilité du matériel génétique animal et végétal aussi bien que celles des sols, et sauraient s'accommoder des pentes, des bas-fonds, des lisières, des étages et des strates boisées, pour les respecter tout en produisant... et en se reproduisant.

Dans le scénario Agrimonde 1, le groupe de travail n'a pas souhaité *a priori* opter pour l'une ou l'autre de ces deux conceptions. Il s'est plutôt exercé à confronter chaque option au contexte régional considéré pour ne retenir que celle qui lui paraissait le mieux répondre aux principes fondamentaux du scénario (voir chapitre II.1). Ainsi, selon les régions, l'application du concept d'intensification écologique a pu prendre des formes différentes se distribuant entre les deux pôles qui viennent d'être présentés. Dans certains cas, le scénario Agrimonde GO a pris l'option opposée à celle du scénario Agrimonde 1, mais c'est bien l'analyse de ces situations contrastées, mais justifiées, qui a permis d'explorer plus avant la notion d'intensification écologique et ses implications environnementales, économiques et sociales (cf. chapitre II.4).

Le modèle 'ségrégationniste' : intensifier les systèmes de production et protéger les espaces naturels

Le premier modèle, que nous pourrions qualifier de 'ségrégationniste', sépare ainsi ce qui peut être cultivé, de ce qui ne doit pas l'être du point de vue de la protection de l'environnement, dans lequel il s'agira néanmoins de gérer des processus 'naturels'. Cette situation est particulièrement bien illustrée dans le scénario Agrimonde GO par les choix réalisés pour la région latino-américaine et qui peuvent se résumer en une stabilisation des surfaces forestières (perte de seulement 1% de la surface en forêt de 2000), compensée par des gains de rendements élevés sur les espaces cultivés (doublement en 50 ans). Dans la région OCDE-1990, le scénario Agrimonde 1 présente une version plus modulée de ce modèle ségrégationniste. Effectivement, le reboisement observable entre 2000 et 2050 marque bien la volonté de préservation des espaces naturels. Cependant, les possibilités réduites d'intensification des systèmes de culture conduisent au grignotage des surfaces pâturées.

La gestion des espaces 'naturels' du modèle dit ségrégationniste a déjà inspiré toute une littérature – d'origine scientifique, mais également des ONG impliquées dans ces propositions – au sujet des approches qui relèvent des concepts d'*Ecosystem management* (nous n'entrerons pas ici dans le détail des nombreuses variantes) ; elles visent à piloter les dynamiques d'un monde dont l'homme est étranger et qu'il doit néanmoins préserver pour protéger la planète sur laquelle il se développe lui-même. Dans l'espace cultivé ou boisé artificiellement, dédié celui-ci aux activités humaines, il s'agira de limiter les dégâts vis-à-vis des processus naturels en pénalisant les pratiques polluantes et en encourageant celles qui sont favorables à la biodiversité, à la conservation des sols, à la protection de la qualité des masses d'eau, etc. Cette variante de l'intensification écologique sur l'espace productif traditionnel, appelle donc des révisions et des améliorations techniques afin de rendre les pratiques moins dommageables pour l'environnement. Classiquement, les propositions vont dans le sens des nouvelles techniques de maîtrise des pathologies, de conservation des sols dans laquelle les biotechnologies, l'agriculture de précision, etc. peuvent jouer un grand rôle, surtout si les critères de performance restent ceux des voies actuelles privilégiant des indicateurs technico-économiques, certes sous contraintes de critères environnementaux... Mais de toute façon, les enjeux relatifs à l'environnement se jouent ailleurs, dans l'espace qui leur est dédié, constitué des réserves, corridors, espaces 'naturels' qui assurent cette fonction pour l'ensemble de la planète, justifiée, tant économiquement que moralement, par les services que rendent les écosystèmes concernés à l'humanité...

Si les critères d'évaluation des performances restent ceux habituellement pratiqués en agriculture, c'est-à-dire des critères de type technico-économiques (rendements, gains de poids, productivité du travail, etc.), même sous certaines contraintes environnementales, ils favoriseront les exploitations qui satisfont à ce genre de critères, celles qui appliqueront les technologies prônées de la manière la plus performante. Dans l'exemple latino-américain du scénario Agrimonde GO, cette variante de l'intensification écologique reste entièrement compatible avec la philosophie du scénario : la poursuite du taux de croissance économique maximum avec les critères classiques d'évaluation de la performance économique. En revanche, le groupe de travail s'est interrogé sur sa compatibilité avec la priorité donnée au développement agricole et à l'équité dans le scénario Agrimonde 1. Effectivement, d'expérience on peut présager que les exploitations aptes à se saisir de ces technologies sont celles qui disposent de moyens d'investissements (ou d'aides à l'investissement) significatifs et d'un encadrement technique approprié, c'est-à-dire celles qui valoriseront le mieux les avantages comparatifs des innovations techniques dans un système compétitif. Dans ce type de modèle, on distingue habituellement des exploitations dites 'commerciales' ayant atteint une dimension suffisante pour être performantes, des exploitations qui ne le sont pas encore mais qui sont en voie de le devenir (par un effort d'investissement et d'acquisition technologique) et d'autres qui ne le deviendront jamais, vouées soit à la disparition soit à un traitement qualifié de 'social' !

Ainsi, dans le scénario Agrimonde 1, la forme d'intensification écologique la plus proche du modèle ségrégationniste se retrouve dans la région OCDE-1990, où une majorité d'exploitations agricoles ont accès à un encadrement tant financier que technique pour adopter les améliorations techniques requises. L'ex Union soviétique pourrait se diriger également vers un type d'agriculture similaire sur ses terres cultivées faute de main d'œuvre, mais dans son cas, la frontière entre espace naturel et espace productif est moins tangible. Effectivement, la forêt devient le lieu privilégié de production d'agro-carburants et la frontière marquée au Nord par le pergélisol recule pour laisser place à des formes d'agro-pastoralisme. Dans les autres régions, le principal frein à la généralisation d'un tel modèle réside dans les possibilités d'accès à la technologie puisque le manque de capital financier, humain et parfois même foncier exclut d'emblée une partie de la paysannerie de ce modèle. D'autre part, les capacités d'administration des réserves naturelles et autres corridors écologiques, ainsi que la gouvernance que suppose un modèle où le front pionnier sur les espaces naturels est complètement stoppé, ont constitué un autre frein majeur à l'adoption de ce modèle dans ces régions aux yeux du groupe de travail.

Le modèle intégrationniste : combiner les fonctions écologiques et productives des agro-écosystèmes sur un même territoire

Le mode d'intensification écologique retenu dans le scénario Agrimonde 1 dans les régions Afrique du Nord – Moyen Orient, Afrique subsaharienne, Amérique latine et Asie se rapproche ainsi plus du deuxième modèle, celui que nous qualifierons de 'l'intégration'. La question s'y pose différemment car ce modèle repose sur la combinaison, dans le même territoire, de différents types de systèmes de production, adaptés aux différents écosystèmes constituant ce territoire, de façon à le maintenir sous la forme d'une mosaïque d'écosystèmes produisant une diversité de services (épuration et régulation des masses d'eau, préservation des sols, maintien des structures paysagères et de la biodiversité, fixation du carbone, etc.). Cela conduit à maintenir, sur un même territoire, des activités d'élevage, de foresterie, de productions végétales, etc., au sein d'une même exploitation ou au sein de différentes exploitations, plus ou moins imbriquées elles-mêmes à l'échelle de ce territoire.

Les critères de performance de l'activité agricole ne se limiteraient plus seulement à des indicateurs technico-économiques, comme la productivité du travail par hectare à l'échelle d'une exploitation, mais sur un ensemble d'indicateurs, à l'échelle d'un territoire rendant compte de l'efficacité des pratiques agricoles en regard de la qualité de l'eau, de la biodiversité, de la conservation de la fertilité des sols tout autant que des productions commercialisables. On parlerait peut-être davantage alors de la manière dont un hectare de sol cultivé peut fournir ces divers services d'une manière qui serait durable... Dans un tel schéma, les trois types de systèmes de production évoqués ci-dessus ne sont plus exclusifs, mais ils se complètent, en permettant, justement, une gestion en finesse de la diversité des écosystèmes présents. Le scénario Agrimonde 1 en présente de bonnes illustrations. Ainsi, pour caricaturer : en Amérique latine les forêts ne sont plus vouées soit à la défriche soit à la protection, mais à des formes intermédiaires relevant de différents modèles agro-forestiers ; en Asie les zones humides ne seront pas toutes drainées, mais peuvent être mises en valeur comme telles en générant des réserves pastorales pour les périodes de décrue ou en associant des projets agricoles et aquacoles ; en Afrique du Nord – Moyen Orient et en

Afrique subsaharienne les zones de parcours – de faible productivité fourragère – deviennent des éléments clés à la fois de circuits de pâturages utilisant une diversité de milieux et de corridors biologiques permettant à la faune et à la flore de circuler au sein d'une mosaïque paysagère ; il en devient de même des haies, bosquets et vergers, habitats pour de nombreux auxiliaires des cultures et éléments de rugosité préservant les sols et la végétation basse des effets des vents et des précipitations. Dans le scénario Agrimonde 1, les exploitations peu performantes selon les seuls critères technico-économiques utilisés en début de période (2000-2010) jouent en 2050 un grand rôle dans cette perspective, donnant tout son sens à la notion de multifonctionnalité de l'agriculture : à la fois une activité agricole qui fournit d'autres biens et services que les seuls biens agricoles, alimentaires ou non, mais également comme l'une des activités pratiquées sur un territoire par certains des ménages qui l'habitent ; c'est alors le territoire et les ménages qui sont multifonctionnels, l'agriculture proprement-dite ne représentant qu'une seule de ces fonctions...

Quelques voies d'approfondissement du concept d'intensification écologique

En ce sens, le scénario Agrimonde 1 intègre un renversement de point de vue sur la multifonctionnalité de l'agriculture, telle qu'elle est relevée comme un des points essentiels, tant par les recommandations de l'IAASTD que par le rapport de la Banque Mondiale 2008 dédié aux questions agricoles [Banque Mondiale, 2008], et qu'il s'agirait d'informer davantage que ce qui a pu être considéré jusqu'à présent. Une des premières tâches pour lui donner sens consisterait à produire des critères de performances susceptibles d'évaluer la qualité de la manière dont ces différentes fonctions sont réalisées, ne serait-ce qu'afin de pouvoir les mettre en politique et les administrer, si ce n'est pour les rémunérer. On verrait alors que dans un tel schéma, les différents types d'agriculture évoqués dans le paragraphe précédent se complètent plus qu'ils ne sont sensés s'aligner sur un modèle unique...

Enfin, dans un cas comme dans l'autre, mais encore plus dans le modèle de l'intégration, se pose la question des réelles capacités d'émergence de nouveaux choix technologiques (et donc sociaux, économiques, d'aménagement de l'espace, etc.). Il pourra s'avérer difficile de sortir des choix actuels tant ils sont intégrés, non seulement dans le panel des solutions techniques évoquées ci-dessus (mécanisation, engrais, pesticides, génétique, etc.) que dans les systèmes cognitifs (savoirs et savoir-faire, représentations de la nature, des nuisances, des paysages, etc.) et de valeurs ('ce qui est bien' !) des principaux acteurs impliqués, de la profession agricole mais également des services et administrations qui les entourent, ainsi que les modes de raisonnement technoscientifiques courants et les priorités données également aux autres secteurs d'activité économique... En d'autres termes, ainsi que l'ont connu d'autres secteurs d'activité, le domaine agricole pourrait se trouver déjà pris au piège de la rationalisation technique, dans une sorte de *lock in* qui rendra bien difficile la conception et la mise en œuvre d'options alternatives... sauf que le caractère essentiel de l'agriculture pour l'ensemble de l'humanité n'autorise pas à tergiverser et à se voiler la face devant les risques liés à la poursuite des tendances actuelles.

III.3 Les comportements alimentaires en question : les ruptures envisagées sont-elles plausibles ?

Jean-Marc Chaumet, Francis Delpeuch, Gérard Gherzi, Jean-Louis Rastoin

Le jeu d'hypothèses sur les régimes alimentaires retenu dans le scénario Agrimonde 1 repose beaucoup sur des ruptures de tendances. Il suppose notamment que l'Afrique subsaharienne aura connu un développement économique rapide permettant à ses habitants un accès à l'alimentation équivalent, en moyenne et en kilocalorie, à celui des autres régions du monde alors qu'il correspond aujourd'hui à 80% de la moyenne mondiale. Par ailleurs, le scénario Agrimonde 1 repose sur des ruptures majeures dans les comportements alimentaires ; c'est sur ces ruptures qu'un regard est proposé dans ce chapitre.

Pour simplifier, Agrimonde 1, dans sa composante alimentaire, sous-tend deux types de ruptures. Ce scénario suppose, d'une part, que le niveau moyen de disponibilités pour la consommation alimentaire, mesuré en kilocalories, baisse dans les pays riches¹²³, sans que cela soit dû à une baisse du niveau moyen de revenu par tête¹²⁴. D'autre part, il suppose que malgré l'augmentation du niveau moyen de revenu par tête, elle augmente de façon modérée dans les pays émergents de sorte que la transition nutritionnelle ne se traduise pas par un risque accru d'épidémie d'obésité.

Les projections à long terme sur les consommations alimentaires au niveau mondial ou de grandes régions reposent généralement sur la fonction qui lie consommation alimentaire aux revenus. C'est notamment le cas des scénarios du MEA, *Global orchestration* imaginant une forte hausse des consommations alimentaires, en particulier dans sa part carnée, comme conséquence d'un taux de croissance mondial très élevé, notamment dans les économies des régions aujourd'hui qualifiées d'émergentes. La possibilité d'une rupture par rapport à la prolongation de ces tendances est une des questions importantes soulevées par l'analyse systématique des hypothèses présentées dans la partie II. Il est donc important de revenir sur les principaux éléments de plausibilité ou de questionnement concernant cette rupture.

Dans une première section, la relation qui lie consommation alimentaire et revenus est explicitée ; les facteurs liés aux évolutions démographiques qui vont influencer cette relation à l'horizon 2050 y sont également discutés. Dans les sections qui suivent, d'autres facteurs susceptibles de transformer les comportements alimentaires dans le sens du jeu d'hypothèses d'Agrimonde 1 sont explorés ; ils concernent les pertes à la consommation, les politiques nutritionnelles et leur efficacité.

La relation consommations alimentaires – revenus et ses déterminants

Lorsque les revenus et l'offre le permettent, l'évolution de la consommation alimentaire se caractérise par trois phases [Observatoire de la consommation alimentaire belge, 2006] et [Combris, 2007]. La première phase est une phase de croissance quantitative de la consommation de tous les aliments jusqu'à un niveau de saturation calorique. La deuxième phase se caractérise par une évolution qualitative centrée sur la structure de la ration : la transition nutritionnelle. Elle s'appuie sur trois principaux facteurs :

- *l'augmentation des niveaux de vie* dans les pays en développement qui tend à augmenter la consommation alimentaire et surtout à rapprocher les niveaux de consommation de produits carnés entre pays.
- *l'urbanisation* : la part des urbains dans la population mondiale tend à augmenter et toutes les prévisions démographiques prévoient un pourcentage d'urbains beaucoup plus élevé en 2050¹²⁵. Cette évolution a une influence sur la consommation alimentaire et sur les modes de consommation. Le régime alimentaire des citadins est généralement plus diversifié que celui

¹²³ En tout cas dans les pays riches qui ont dépassé la moyenne mondiale située aujourd'hui, comme en 2050 dans Agrimonde 1, à 3000kcal/jour/personne.

¹²⁴ Le niveau moyen de disponibilités pour la consommation considéré ici correspond à des disponibilités et non à l'ingestion d'aliments ; les disponibilités étant en partie ingérées et en partie perdues. En termes d'ingestion, les besoins énergétiques nets des hommes se situent entre 2000 et 3000 Kcal/jour selon le sexe, la taille, le poids et l'intensité de l'activité physique.

¹²⁵ Jusqu'à près de 70% selon le scénario moyen de l'ONU, la population urbaine passant de 2,8 milliards en 2000 à 6,4 milliards en 2050. [ONU, 2007].

des ruraux, avec une consommation plus importante d'aliments transformés. Le poisson, les légumes frais, la viande, la volaille, le lait et ses dérivés sont plus souvent consommés par les citadins. Mais cette consommation est souvent déséquilibrée sur le plan nutritionnel : trop riche en calories, proportion trop élevée de graisses saturées et de sucres. Lié à une activité physique comparativement plus faible que les ruraux, ce mode de consommation entraîne souvent des risques d'obésité et de maladies cardio-vasculaires. L'urbanisation va également de pair avec une réduction du temps passé à la préparation des repas, une augmentation du nombre de repas pris à l'extérieur du domicile et une perte des savoirs culinaires [Latham, 2001].

- l'*industrialisation* des systèmes alimentaires qui dans son volet consommation se décline en : hausse de la proportion d'aliments manufacturés, importance des emballages, augmentation de produits animaux via des élevages hors-sol, prédominance des supermarchés dans le commerce de détail et des chaînes de fast-food dans la restauration hors-foyer... Toutefois, l'activité de transformation permet une conservation des produits efficace, limitant les pertes après élevage ou récolte.

Enfin, la troisième phase est marquée par une stationnarité de la structure macro-nutritionnelle de la ration. Ainsi, la richesse des pays se traduit, à partir d'un certain seuil, par un plafonnement du niveau des disponibilités alimentaires par personne, qui n'est pas associé à une baisse des dépenses affectées à l'alimentation mais à l'achat d'aliments plus sophistiqués (préparation et conditionnement plus élaborés ou aliments de meilleure qualité) et donc plus chers pour un même apport calorique.

Cette non-linéarité de la fonction qui lie la consommation aux revenus se trouve accentuée par d'autres facteurs¹²⁶. D'une part, les besoins en calories des personnes âgées étant moindres que ceux d'une population adulte ou en croissance, le vieillissement de la population entraîne une diminution des consommations alimentaires¹²⁷. Cet effet aura notamment une importance non négligeable en 2050 du fait de l'augmentation de la part des personnes âgées (de plus de 60 ans) dans la population mondiale. Selon les estimations moyennes de l'ONU le nombre de personnes âgées devrait passer de 610 millions en 2000 (soit 10% de la population) à plus de 2 milliards au niveau mondial en 2050 (soit 21% de la population) [ONU, 2006]. Toutes les régions seront concernées, y compris l'Afrique, même si ce continent aura toujours le plus faible taux de personnes âgées. D'autre part, certains régimes alimentaires restent stables malgré le développement du pays et l'enrichissement des ménages. Le Japon en est un exemple typique : ce pays connaît un régime alimentaire caractérisé par une disponibilité en kilocalories par personne et par jour stable d'environ 2800 depuis les années 1960.

Agrimonde 1 comme scénario de réduction des pertes à la consommation

Les hypothèses du scénario Agrimonde 1 relatives à la consommation alimentaire pourraient traduire, dans l'esprit de ce scénario, une lutte efficace contre les pertes après mise à disposition du consommateur final. On peut en effet imaginer que certaines évolutions comportementales, bien qu'encore assez marginales aujourd'hui, se généralisent d'ici à 2050. Depuis quelques années, en effet, une prise de conscience individuelle et collective des conséquences parfois néfastes des actes de chacun dans la vie quotidienne sur la santé et l'environnement émerge lentement dans de nombreux pays à travers le monde. Une attitude plus responsable, entraînant des comportements durables est encouragée par des acteurs de la société civile comme par les pouvoirs publics qui tentent de sensibiliser les citoyens.

De nombreux gouvernements mettent notamment en place des mesures pour inciter à des consommations plus durables [OCDE, 2008] : le Danemark a par exemple augmenté le prix de l'eau courante de 150% par l'intermédiaire de plusieurs taxes, ce qui a permis de réduire la

¹²⁶ Pour être complet, il faut souligner une limite méthodologique à l'exercice entrepris : le modèle quantitatif ne prenant pas en compte les prix des produits, il ne nous a pas été possible de nous interroger sur l'influence des prix des denrées sur les régimes alimentaires des consommateurs. Cependant, l'inflexion des tendances de consommations dans les pays de l'OCDE-1990 serait compatible avec un scénario dans lequel le niveau de prix reste élevé, notamment dans le cas de la viande.

¹²⁷ Toutefois, les recommandations nutritionnelles pour les personnes âgées conduisent à une réduction de l'apport énergétique minime, le risque d'une réduction trop importante étant essentiellement la dénutrition. En particulier, la métabolisation des protéines perdant en efficacité avec l'âge, l'apport de protéines doit être maintenu au moins égal à celui des hommes ou femmes adultes, et doit être en grande partie constitué de protéines animales, plus facilement métabolisées.

consommation d'eau. Dans de nombreux pays, des labels obligatoires de niveau d'efficacité énergétique ont été appliqués à un grand nombre d'équipements électriques ménagers. L'Italie qui préside la « *Marrakech Task Force on Education for Sustainable Consumption* », a mis sur pied un réseau d'écoles du futur qui enseignent et mettent en œuvre la durabilité sociale et environnementale... Les citoyens participent directement à cette sensibilisation à travers la création d'associations prônant des comportements durables, comme à travers des mouvements spontanés, à l'instar du « freeganisme »¹²⁸ initié aux Etats-Unis.

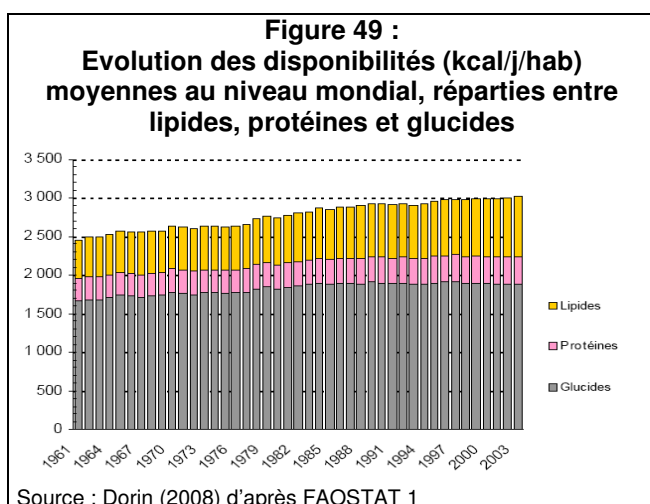
La consommation durable se développe également à travers les systèmes alimentaires localisés, permettant de réduire les coûts de transports et les productions à contre-saison et diminuant ainsi les dépenses énergétiques et les impacts sur l'environnement. Une des formes de concrétisation de ces principes a pris naissance dans le mouvement « locavore », initié aux Etats-Unis en 2005, qui encourage les consommateurs à acheter des produits frais et de saison issus de la production locale, dans un rayon de 150-200 km.

Même si la recherche, dans quelques pays, commence à se saisir de cette question en lançant des programmes sur les comportements de consommation durable, notre connaissance des interactions entre consommations, notamment alimentaires, et développement durable reste assez parcellaire. Ainsi, par exemple, l'impact environnemental global comparé de systèmes alimentaires très localisés ou au contraire très internationalisés pose des questions complexes encore peu explorées alors qu'elles apparaissent déterminantes pour apprécier la durabilité de différentes options pour le futur.

Agrimonde GO dans la tendance d'un fort développement des pathologies d'origine alimentaire

Les maladies non transmissibles liées à l'alimentation (MNTA) deviennent peu à peu un sujet central d'actualité qui préoccupe aussi bien les citoyens que les gouvernements, dans toutes les régions du monde, qui s'alarment de l'augmentation rapide des dépenses de santé et des coûts économiques et sociaux de ces maladies. Agrimonde GO, en tant que scénario tendanciel en matière de régime alimentaire, porte le risque d'une explosion de ces coûts.

En 2005, 1,3 milliards d'adultes dans le monde étaient en surpoids, dont 400 millions d'obèses (concernant les causes et les facteurs de risque, se référer à l'encadré 13). Si les tendances récentes se poursuivent, en 2030 ces chiffres pourraient atteindre 3 milliards et 1 milliard respectivement [Kelly et al, 2008]. Selon une étude récente, 17% des Français seraient obèses et 32% en surpoids [INVS, 2006]. Aux Etats-Unis, le pourcentage d'adultes en surpoids est passé de 47 % en 1980 à 64 % en 2000 et celui des obèses de 15 % à 31 % [NHANES, Data on the Prevalence of Overweight and Obesity Among Adults]. Dans le même temps, la proportion d'enfants et d'adolescents en surpoids a triplé. Au rythme actuel, la France pourrait compter 20% d'obèses en 2020 [Institut Roche de l'Obésité et INSERM, 2003], et les Etats-Unis plus de 40% [Ruhm, 2007].



Ce qui est qualifié d'épidémie se répand aussi de plus en plus dans les pays en développement, où 800 millions de personnes sont en surpoids, dont près de 200 millions d'obèses [Kelly et al, 2008], suite à la diffusion du modèle de consommation occidentale et également du fait des politiques publiques, les aides alimentaires ayant souvent consisté en un apport d'aliments obésogènes. Ainsi 18% de la population uruguayenne et 25% des Egyptiens seraient obèses [World Health Statistics, WHO]. La hausse des disponibilités au niveau mondial s'explique en effet essentiellement par une plus grande disponibilité en lipides (cf. figure 49) et donc en aliments concentrant ce macronutriment

¹²⁸ Les adeptes du « freeganisme » veulent dénoncer la surproduction et le gaspillage de produits alimentaires en se nourrissant avec des aliments récupérés dans les poubelles des restaurants et des magasins.

(produits laitiers, viandes, huiles végétales utilisées pour la cuisson, l'assaisonnement ou incorporées dans divers aliments) [Scalbert, 2003]¹²⁹. L'obésité coexiste avec une sous-nutrition chronique et des carences en micronutriments : il s'agit du « double fardeau » que connaissent la plupart des pays en développement [OMS, 2003]. En outre, bien que les causes n'en soient pas complètement élucidées, l'impact du diabète et de l'hypertension chez les personnes en surpoids survient plus rapidement dans les pays en développement que dans les pays riches (les populations des pays en développement montrant une capacité accrue de stockage des graisses) [Basdevant, 2003].

Encadré 13 : Surpoids et Obésité : définitions, causes, facteurs de risque et troubles associés

Le surpoids et l'obésité se définissent comme une accumulation anormale ou excessive de graisse corporelle qui peut nuire à la santé. L'indice de masse corporelle (IMC) est une mesure simple du poids par rapport à la taille couramment utilisée pour estimer le surpoids et l'obésité chez les populations et les individus adultes. Il correspond au poids divisé par le carré de la taille, exprimé en kg/m^2 . Il doit toutefois être considéré comme une indication approximative car il ne correspond pas nécessairement à la même masse grasseuse selon les individus. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) définit le surpoids comme un IMC égal ou supérieur à 25 et l'obésité comme un IMC égal ou supérieur à 30.

La cause fondamentale de l'obésité et du surpoids est un déséquilibre énergétique entre les calories consommées et dépensées. La fréquence de plus en plus grande de l'obésité et du surpoids dans le monde est due à plusieurs facteurs, dont :

- un changement d'alimentation observé à l'échelle mondiale à travers un excès d'apport quantitatif et qualitatif. Un apport calorique excessif par rapport aux besoins entraîne sur une longue période une prise de poids significative. Une plus grande consommation d'aliments très caloriques riches en graisses et en sucres mais pauvres en vitamines, en minéraux et autres micronutriments jouent un rôle majeur dans l'apparition d'un déséquilibre. Les troubles concernant la prise alimentaire, c'est à dire la déstructuration des rythmes des repas, sont incompatibles avec une alimentation régulière, et favorisent la prise de poids.
- la tendance à diminuer la dépense énergétique. Il s'agit de la sédentarité au sens large, et du passage d'une activité physique importante à la sédentarité : la tendance à faire moins d'exercice physique en raison de la nature de plus en plus sédentaire de nombreuses formes de travail et de loisir, de l'évolution des modes de transport et de l'urbanisation est de plus en plus répandue.

Mais d'autres facteurs peuvent également intervenir :

- Les facteurs génétiques : même si de nombreuses incertitudes demeurent sur la part de l'hérédité dans la survenue de l'obésité, certains chercheurs pensent que la génétique explique une partie de la variance de l'indice de masse corporelle (IMC). Les modalités d'interaction des facteurs génétiques avec différents facteurs de l'environnement (notamment la nutrition) ne sont pas encore élucidées mais plusieurs gènes sont vraisemblablement impliqués.
- Les facteurs psychologiques : certains états psychologiques, comme la dépression ou le stress, peuvent agir sur la prise de poids. La mesure des conséquences de ces états est difficile car l'obésité en elle-même contribue à développer certains traits psychologiques.
- Les facteurs sociaux et culturels : dans tous les pays riches, une relation entre la pauvreté et l'obésité peut être observée. L'explication pourrait se trouver dans de mauvaises habitudes alimentaires et une inégalité d'accès aux soins.

Le surpoids et l'obésité entraînent de graves conséquences pour la santé. Les risques augmentent progressivement avec l'IMC. Un indice de masse corporelle élevé est un important facteur de risque de maladies chroniques comme :

- les maladies cardiovasculaires (principalement cardiopathie et accident vasculaire cérébral), qui sont déjà la première cause de décès dans le monde (17 millions de morts par an) ;
- le diabète de type 2, qui a rapidement pris les proportions d'une épidémie mondiale. L'OMS prévoit que les décès dus au diabète augmenteront de plus de 50 % dans le monde au cours des dix prochaines années ;
- les troubles musculo-squelettiques, en particulier l'arthrose ;
- certains cancers (endomètre, sein et colon).

Source : site Internet OMS <www.who.int>

Agrimonde 1 comme scénario de lutte efficace contre les pathologies d'origine alimentaire

Les hypothèses d'Agrimonde 1, et les changements de comportement qu'elles supposent, correspondent à un scénario dans lequel la lutte contre ces maladies est non seulement devenue une priorité centrale mais aussi est parvenue à ses fins.

Ces dernières années ont vu les actions politiques se multiplier pour tenter de prévenir les maladies liées à l'alimentation, qui pourraient aller dans le sens d'une alimentation plus saine envisagée dans le scénario Agrimonde 1. On peut mentionner à titre d'exemple la France, les Etats-Unis, le Royaume-Uni, le Canada, la Chine et la Tunisie. La France a ainsi créé le Programme National Nutrition Santé couvrant la période 2001-2006, puis 2006-2010. Ce programme vise dans sa deuxième version trois objectifs, premièrement de prévention par l'éducation nutritionnelle, deuxièmement de dépistage précoce et de prise en charge des troubles nutritionnels (obésité, dénutrition), et enfin de ciblage sur les populations défavorisées. Ces objectifs sont associés à des indicateurs quantitatifs à 5 ans (- 20% de prévalence de surpoids, - 25% de « petits consommateurs de fruits et légumes », - 5% de cholestérolémie moyenne, + 25% d'individus pratiquant un exercice physique), organisés en 9 repères et suivis de manière régulière [Ministère de la santé et des solidarités, 2006].

Les Etats-Unis ont lancé le programme CARE (Communication Action Research and Evaluation), projet dont les actions se déroulent à différents niveaux : fournir des informations et éduquer les personnes sur les problèmes de santé, mettre en œuvre des actions (notamment dans les écoles) et mener des recherches pour mieux comprendre les causes et les traitements de l'obésité [Combric et al, 2005]. Le gouvernement anglais a lancé début 2008 une campagne contre l'obésité centrée sur l'éducation nutritionnelle des enfants et adolescents. Le Canada a édité le « *Canada's Food Guide* » et mis en place en 2007 des crédits d'impôts pour les ménages dont les enfants pratiquent certains sports.

La Tunisie, dès 1995, a lancé une action originale dans le contexte de l'époque, le PNAN (Programme National d'Alimentation et de Nutrition), dont l'objectif était de « réaliser durablement le bien-être nutritionnel des Tunisiens » en intégrant un volet nutritionnel dans les politiques de développement. Parmi les mesures envisagées par le gouvernement tunisien, on note un encouragement à la consommation de produits locaux plutôt qu'importés, le ciblage des groupes à risques, la création d'unités de nutrition à l'échelon régional et la mise en place d'actions d'éducation et de communication. Même la Chine a commencé à prendre des mesures en publiant un « *National Plan of Action for Nutrition* » ainsi que des « *Dietary Guidelines for Chinese Residents* » [D'Arcy et al., 2006]. Un système national de prévention systématique de certaines maladies (hypertension, diabète de type 2, et certains cancers) est également en place depuis peu dans ce pays.

La situation nutritionnelle des populations préoccupe également les organisations intergouvernementales. Ainsi, l'Assemblée mondiale de la santé a décidé en 2000 de mettre en place une « *stratégie mondiale de surveillance des maladies d'origine alimentaire et de salubrité des aliments* », au motif que la sûreté des aliments est une priorité de santé publique. Ce programme a été publié en 2002. Il part du constat que les maladies d'origine alimentaire et notamment l'obésité, sont en croissance rapide, mais que peu d'informations fiables et exhaustives sont disponibles pour pratiquer une évaluation correcte des risques. Par conséquent, la première priorité est de mettre en place un système mondial de surveillance des maladies d'origine alimentaire. Un réseau est en cours de constitution pour assurer ce service (*Foodborne Disease Surveillance*) depuis 2002, mais il tarde à devenir opérationnel [Rastoin, 2007]. En 2003, l'OMS et la FAO ont publié le rapport conjoint 916 "*Diet, Nutrition and the prevention of chronic diseases*"; et sur la base de ce rapport l'Assemblée Mondiale de la Santé a adopté en 2004 une "stratégie globale sur l'alimentation, l'exercice physique et la santé".

Pourtant, les politiques lancées par les gouvernements pour prévenir et lutter contre les maladies non transmissibles liées à l'alimentation (MNTA) semblent avoir eu une efficacité relative jusqu'à présent. Ainsi, l'Etat français a lancé en 2000 le Programme National Nutrition Santé (PNNS) dans le but de diminuer la prévalence de l'obésité en France à échéance 2005. Or, si l'obésité et le surpoids chez les enfants de 7 à 9 ans semble avoir stagné [Péneau et al., 2008], une étude montre qu'en 2006, l'obésité des adultes a progressé en France, par rapport à 2003 [Institut Roche de l'Obésité et INSERM, 2006]. L'impact des programmes nutritionnels publics est dépendant des efforts budgétaires consentis. Ainsi, le deuxième PNNS est doté de 47 millions d'euros, somme très modeste en comparaison des 5 milliards dépensés chaque année en publicité par les grandes

firmes agroalimentaires. En Tunisie, L'INNTA (Institut National de Nutrition et de Technologie Alimentaire), chargé de mettre en œuvre le PNAN, faute de moyens suffisants, s'est limité à la réalisation d'enquêtes nutritionnelles, d'enseignements dans le système scolaire et d'émissions radiophoniques de sensibilisation [Dekhili, 2004]. Il y a donc, là encore, un écart entre des intentions louables et des réalisations qui restent limitées et donc à faible impact sur la santé publique.

L'évaluation des politiques est difficile, celle-ci portant le plus souvent sur le bilan quantitatif des actions menées ou la description de processus. Les évaluations s'engagent rarement dans l'étude des modifications de comportement ou l'utilisation d'indicateurs médicaux [INRA, 2007]. Outre cette difficulté liée à l'évaluation, la mise en œuvre des politiques rencontre de nombreuses difficultés : il est, par exemple, admis que la lutte contre l'obésité se heurte au nombre et à la variété des facteurs pouvant expliquer cette maladie (cf. encadré 13) et demande donc des politiques à plusieurs niveaux d'intervention [OPEPS, 2005]. Par ailleurs, les industries agroalimentaires pèsent également sur le comportement des consommateurs et leurs messages ne sont pas toujours compatibles avec les objectifs de santé publique.

Finalement, d'une manière plus générale, les interventions publiques dans les pays développés, peu nombreuses en fin de compte, ont surtout porté sur l'information, l'éducation et la communication et ne semblent pas avoir radicalement changé les modes de consommation des citoyens qui conservent dans leur majorité les mêmes habitudes alimentaires. Des actions seulement fondées sur la sensibilisation et l'éducation ne semblent donc pas suffisantes pour faire changer les comportements, une modification de l'environnement devenu obésogène devrait être une des cibles des politiques [Swinburn et al., 2002]. On assiste ainsi dans les pays développés à une lente prise de conscience des conséquences des régimes alimentaires actuels sur la santé, et donc un changement relativement lent des habitudes alimentaires. Cette prise de conscience est de plus, encore très difficile à envisager dans les pays en développement où la réussite sociale signifie souvent abondance et sédentarité et où l'information nutritionnelle est encore très peu diffusée.

Un des défis du scénario Agrimonde 1 est donc bien de trouver des formes d'action plus efficaces pour impulser la rupture envisagée dans les tendances de consommation alimentaire. Et pour cela, des avancées déterminantes de nos connaissances sont nécessaires, notamment pour mieux comprendre la complexité des comportements alimentaires et de leur relation à la santé, et ce qui est susceptible de les infléchir.

III.4 Echanges et régulations : quelles perspectives ?

Michel Petit

Un des résultats les plus importants de l'exercice Agrimonde est probablement la nécessité du développement accéléré des échanges internationaux des produits agricoles et alimentaires au cours des prochaines décennies. Les calculs rapportés ci-dessus (chapitre II.3) ne permettent pas de projeter directement les volumes des échanges internationaux impliqués par les différents scénarios envisagés. Cependant un bon indicateur agrégé des échanges nécessaires pour assurer la satisfaction des besoins reflétés dans les estimations des emplois régionaux après avoir donné la priorité à la satisfaction de ces besoins par la production régionale, est fourni par la somme des déficits régionaux en calories végétales dans la variante où les emplois de produits animaux sont couverts par la production animale régionale, et où les emplois de calories végétales doivent donc couvrir à la fois les besoins correspondants pour l'alimentation animale régionale, et ceux de l'alimentation humaine régionale (variante 1). Cet indicateur doit être interprété comme un indicateur agrégé des échanges de produits végétaux et animaux mais, même ainsi interprété, il fournit de fait une estimation par défaut. Contrairement à la somme mondiale des déficits nationaux, la somme des déficits régionaux n'inclut pas les déficits liés aux échanges entre pays d'une même région. Elle n'inclut pas non plus le fait que certains pays peuvent être exportateurs nets de produits végétaux et importateurs nets de produits animaux ou vice-versa.

Malgré ces limites, la comparaison des valeurs de cet indicateur entre les scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO est particulièrement intéressante. En effet, le déficit cumulé des régions déficitaires dans le premier scénario est de 9 415 Gkcal/j alors qu'il n'est que de 4 399 Gkcal dans le second (AGO). Pourtant, le Agrimonde GO est un scénario supposé représenter un monde ouvert reposant sur la croissance du commerce international alors que le scénario Agrimonde 1 se veut davantage préoccupé par le souci d'un développement durable à long terme.

Un autre élément doit être pris en compte pour bien saisir la portée de ces chiffres. Ceux-ci impliquent en effet une forte croissance des échanges internationaux. En 2003, le même indicateur aurait un ordre de grandeur d'environ 1 400 Gkcal. Il s'agit seulement d'un ordre de grandeur car les chiffres du bouclage '2003' ne sont pas directement comparables à ceux des scénarios 2050 puisqu'ils concernent à la fois des produits animaux et des produits végétaux, difficiles à agréger comme expliqué ci-dessus. Ils incluent aussi des exportations et importations simultanées des uns et des autres par une même région, ce qui n'est pas le cas des chiffres issus des scénarios 2050. Ce dernier point implique que ces derniers sous-estiment les besoins d'accroissement d'importations des régions déficitaires lorsqu'on les compare aux chiffres de 2003. Or les croissances calculées sur la base de cette comparaison sont très fortes (672% pour le scénario Agrimonde 1 et 314% pour le scénario Agrimonde GO), même si les différences exprimées en termes de taux annuels moyens de croissance sur quarante sept ans sont moins spectaculaires, respectivement 4,1% et 2,5%.

Au total, le scénario Agrimonde 1, construit rappelons-le sur une base volontariste quant à l'estimation des besoins alimentaires (3 000 kcal par jour et par habitant en moyenne dans toutes les régions du monde) et quant à la protection de l'environnement, ce souci étant reflété dans le choix des hypothèses de surfaces et de rendements, discuté ci-dessus, implique une forte croissance des échanges inter-régionaux et donc internationaux. Il faut bien sûr s'interroger sur la vraisemblance de ces hypothèses : les hypothèses basses de rendements retenues dans le scénario Agrimonde 1 dans les régions déficitaires sont relativement faibles, on l'a dit, nettement au dessous du prolongement de la tendance passée, tandis que les hypothèses de consommation, notamment en calories animales sont élevées¹³⁰. Cependant le résultat de la nécessité d'une croissance des échanges internationaux paraît robuste, comme l'indique la comparaison avec le scénario Agrimonde GO, qui comme le scénario de Michel Griffon paraît optimiste en termes de progrès technique durable possible dans les régions déficitaires (Asie, Afrique subsaharienne et Afrique du Nord - Moyen Orient), et la comparaison avec d'autres travaux de prospective ou de projection.

¹³⁰ Particulièrement en Afrique subsaharienne où elles sont mêmes plus élevées que dans Agrimonde GO.

Quelles réglementations des échanges commerciaux peuvent-elles permettre cette croissance nécessaire des échanges internationaux? Il n'est pas possible d'apporter une réponse précise à cette question. Cependant, il semble clair qu'une forte poussée de protectionnisme, notamment dans les zones déficitaires, ne paraît pas souhaitable car trop de protection pourrait entraver la progression nécessaire des importations dans les pays déficitaires. Inversement, les hypothèses du scénario Agrimonde 1, en particulier relatives aux surfaces et aux rendements, impliquent une viabilité économique des agricultures locales, notamment celles fondées sur de nombreuses petites exploitations de semi-subsistance. Or cette viabilité économique risquerait d'être remise en cause par la concurrence d'importations massives à des prix bradés, notamment grâce à des subventions aux exportations, telles que pratiquées largement par les pays développés dans le passé. Au total donc, on arrive à une conclusion qui pourra surprendre : on voit en effet que de nombreux pays pauvres des régions déficitaires auraient intérêt à une conclusion positive du cycle de Doha, sur la base des principales dispositions qui étaient 'sur la table' lors de la conférence ministérielle de l'OMC à Genève en juillet 2008 (élimination des subventions aux exportations, meilleur accès aux marchés des pays développés, maintien du niveau de protection agricole pour les pays les plus pauvres avec cependant érosion des préférences pour les pays bénéficiant d'un accès privilégié à certains marchés, comme les pays ACP sur le marché européen). Certes la conférence a échoué et analyser les causes de cet échec sort largement du cadre de ce rapport. Ce qu'il importe de souligner ici, c'est la nécessité d'une croissance des importations des régions déficitaires et le danger de tout dogmatisme idéologique en matière de régulation des échanges internationaux. En outre, il faut être conscient de la nécessité de réglementations internationales concernant l'environnement, tout particulièrement la lutte contre le réchauffement climatique. L'articulation entre réglementations environnementales et réglementations commerciales sera donc nécessaire. Implicitement, les hypothèses du scénario Agrimonde 1 supposent une telle articulation. Mais on sait qu'il s'agit là d'un chantier difficile qui ne fait que commencer, comme l'illustre la décision prise à la récente conférence de Poznan d'inclure les changements dans l'utilisation des terres, tout particulièrement les actions de protection des forêts, dans le futur accord faisant suite au Protocole de Kyoto, alors que les modalités de cette prise en compte sont loin d'être claires.

Bibliographie Partie III

[Combris, 2007] : Combris P., 2007, «Croissance économique et alimentation : peut-on maîtriser les évolutions à long terme ? », *Communication à l'Académie d'Agriculture de France*, séance du 14 février 2007,3p.

[Crombie et al., 2005] : Crombie L. K., Irvine L., Elliott L., Wallace H., 2005, *Public Health Policy to tackle obesity An International Perspective*, University of Dundee and NHS Scotland, 80 p.

[D'Arcy et al., 2006] : D'Arcy M., Harduar P., Orloff M., and. Rozas A. K, 2006, "The Move towards Obesity: the Nutrition Transition in China", *Paper prepared for the International Economic Development Program*, Ford School of Public Policy, University of Michigan, 28 p.

[Dekhili S., 2004] : Dekhili S., 2004, «Contribution des politiques de sécurité alimentaire au bien-être des populations : le cas de la Tunisie », mémoire de recherche de DEA EGDAAR, Université Montpellier I, Agro.Montpellier.

[FAO, 2003.b] : FAO, 2003, *World Agriculture: towards 2015-2030*, 97 p.

[Fischer et al., 2002] : Fischer G., Velthuisen H. van, Nachtergaele F. O., 2002, *Global Agro-ecological Assessment for Agriculture in the 21st Century: Methodology and Results*, Research Report RR-02-02, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, March, 154 p.

[INRA, 2007] : Combris P., Amiot-Carlin M-J., Caillavet F., Causse M., Dallongeville J., Padilla M., Renard C., Soler L-G. (éds.), 2007, *Les fruits et légumes dans l'alimentation : rapport d'expertise*, 374 p.

[Institut Roche de l'Obésité et INSERM, 2003] : Institut Roche de l'Obésité et INSERM, 2003, *3ème enquête épidémiologique nationale sur l'obésité et le surpoids en France*, Dossier de presse, Enquête ObEpi-Roche 2003, 22 p.

[Institut Roche de l'Obésité et INSERM, 2006] : Institut Roche de l'Obésité et INSERM, 2006, *4ème enquête épidémiologique nationale sur l'obésité et le surpoids en France*, 38 p.

[INVS, 2006] : INVS, 2006, *Étude nationale nutrition santé (ENNS)*, 77 p.

[Kelly T et al] : Kelly T., Yang W., Chen C-S., Reynolds K. and He J., 2008, « Global burden of obesity in 2005 and projections to 2030 », *International Journal of Obesity*, 32(9),1431-1437.

[Latham, 2001] : Latham M. C., 2001, *La nutrition dans les pays en développement*, FAO, 515 p.

[Ministère de la santé et des solidarités, 2006] : Ministère de la santé et des solidarités, 2006, *Deuxième Programme national nutrition santé – 2006-2010 – Actions et mesures*, 52 p

[NHANES, Data on the Prevalence of Overweight and Obesity Among Adults] : NHANES, Center for Disease Control and Prevention,
<http://www.cdc.gov/nchs/products/pubs/pubd/hestats/overweight/overwght_adult_03.htm>.

[Observatoire de la consommation alimentaire belge, 2006] : Observatoire de la consommation alimentaire belge, 2006, *Comparaison des dépenses alimentaires des ménages aux USA et en Belgique*, 16 p.

[OCDE, 2008] : OCDE, 2008, *Promoting Sustainable Consumption – Good practices in OECD countries*, 62 p.

[ONU, 2006] : ONU, 2006, *World Population prospects: The 2006 Revision Population Database*.

[ONU, 2007] : ONU, 2007, *World Urbanization Prospects: The 2007 Revision Population Database*.

[OMS, 2003] : OMS, 2003, *Régime alimentaire, nutrition et prévention des maladies chroniques*, Rapport d'une Consultation OMS/FAO d'experts, Série de Rapports techniques 916.

[OPEPS, 2005] : OPEPS, 2005, *La prévention et la prise en charge de l'obésité*, Rapport de l'OPEPS n°8 (2005-2006), au nom de l'Office parlementaire d'évaluation des politiques de santé, déposé le 5 octobre 2005, 204 p.

[Péneau et al, 2008] : Péneau S. et al, 2008, « The prevalence of overweight and obesity in 7_9 year old children in France is stable between 2000 and 2007 », *International Journal of Obesity*, 32.

[Rastoin, 2007] : Rastoin J-L., 2007, « Quel système alimentaire à l'horizon 2050 ? », *Académie d'Agriculture de France*, séance du 7 février 2007.

[Ruhm, 2007] : Ruhm, C. J,2007, « Current and Future Prevalence of Obesity and Severe Obesity in the United States », *Forum for Health Economics & Policy*, 10 (2).

[Scalbert, 2003] : Scalbert, A, 2003, *La transition nutritionnelle*, Université d'été de Nutrition.

[Swinburn et al, 2002] : Swinburn B., Egger G., *Preventive strategies against weight gain and obesity*, Obesity Reviews, 3(4), 289-301

ANNEXES

Annexe 1. Les pays analysés et leur classement en région MEA

Pays (nom anglais)	(nom français)	Période statistique	Région MEA
Albania	Albanie	1961-2003	OECD OECD 1990
Algeria	Algérie	1961-2003	MENA Middle East and North Africa
Angola	Angola	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Argentina	Argentine	1961-2003	LAM Latin America
Armenia	Arménie	1992-2003	FSU Former Soviet Union
Australia	Australie	1961-2003	OECD OECD 1990
Austria	Autriche	1961-2003	OECD OECD 1990
Azerbaijan, Republic of	Azerbaïdjan, Républiq de	1992-2003	FSU Former Soviet Union
Bangladesh	Bangladesh	1961-2003	ASIA Asia
Belarus	Bélarus	1992-2003	FSU Former Soviet Union
Belgium-Luxembourg	Belgique-Luxembourg	1961-2003	OECD OECD 1990
Benin	Bénin	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Bolivia	Bolivie	1961-2003	LAM Latin America
Bosnia and Herzegovina	Bosnie-Herzégovine	1992-2003	OECD OECD 1990
Botswana	Botswana	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Brazil	Brésil	1961-2003	LAM Latin America
Bulgaria	Bulgarie	1961-2003	OECD OECD 1990
Burkina Faso	Burkina Faso	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Burundi	Burundi	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Cambodia	Cambodge	1961-2003	ASIA Asia
Cameroon	Cameroon	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Canada	Canada	1961-2003	OECD OECD 1990
Central African Republic	Centrafricaine, Rép	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Chad	Tchad	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Chile	Chili	1961-2003	LAM Latin America
China	Chine	1961-2003	ASIA Asia
Colombia	Colombie	1961-2003	LAM Latin America
Congo, Dem Republic of	Congo, Rép dém du	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Congo, Republic of	Congo, République du	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Costa Rica	Costa Rica	1961-2003	LAM Latin America
Côte d'Ivoire	Côte d'Ivoire	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Croatia	Croatie	1992-2003	OECD OECD 1990
Cuba	Cuba	1961-2003	LAM Latin America
Czech Republic	Tchèque, République	1993-2003	OECD OECD 1990
Czechoslovakia	Tchécoslovaquie	1961-1992	OECD OECD 1990
Denmark	Danemark	1961-2003	OECD OECD 1990
Dominican Republic	Dominicaine, République	1961-2003	LAM Latin America
Ecuador	Équateur	1961-2003	LAM Latin America
Egypt	Égypte	1961-2003	MENA Middle East and North Africa
El Salvador	El Salvador	1961-2003	LAM Latin America
Eritrea	Érythrée	1993-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Estonia	Estonie	1992-2003	OECD OECD 1990
Ethiopia	Éthiopie	1993-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Ethiopia PDR	Ethiopie RDP	1961-1992	SSA Sub-Saharan Africa
Finland	Finlande	1961-2003	OECD OECD 1990
France	France	1961-2003	OECD OECD 1990
Gabon	Gabon	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Gambia	Gambie	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Georgia	Géorgie	1992-2003	FSU Former Soviet Union
Germany	Allemagne	1961-2003	OECD OECD 1990
Ghana	Ghana	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Greece	Grèce	1961-2003	OECD OECD 1990
Guatemala	Guatemala	1961-2003	LAM Latin America
Guinea	Guinée	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Guinea-Bissau	Guinée-Bissau	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Guyana	Guyana	1961-2003	LAM Latin America
Haiti	Haïti	1961-2003	LAM Latin America
Honduras	Honduras	1961-2003	LAM Latin America
Hungary	Hongrie	1961-2003	OECD OECD 1990
Iceland	Islande	1961-2003	OECD OECD 1990
India	Inde	1961-2003	ASIA Asia
Indonesia	Indonésie	1961-2003	ASIA Asia
Iran, Islamic Rep of	Iran, Rép islamique d'	1961-2003	MENA Middle East and North Africa
Ireland	Irlande	1961-2003	OECD OECD 1990
Israel	Israël	1961-2003	MENA Middle East and North Africa
Italy	Italie	1961-2003	OECD OECD 1990
Jamaica	Jamaïque	1961-2003	LAM Latin America
Japan	Japon	1961-2003	OECD OECD 1990
Jordan	Jordanie	1961-2003	MENA Middle East and North Africa
Kazakhstan	Kazakhstan	1992-2003	FSU Former Soviet Union
Kenya	Kenya	1961-2003	SSA Sub-Saharan Africa
Korea, Dem People's Rep	Corée, Rép pop dem	1961-2003	ASIA Asia
Korea, Republic of	Corée, République de	1961-2003	ASIA Asia

Kuwait	Koweït	1961-2003	MENA	Middle East and North Africa
Kyrgyzstan	Kirghizistan	1992-2003	FSU	Former Soviet Union
Laos	Laos	1961-2003	ASIA	Asia
Latvia	Lettonie	1992-2003	OECD	OECD 1990
Lebanon	Liban	1961-2003	MENA	Middle East and North Africa
Lesotho	Lesotho	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Liberia	Libéria	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Libyan Arab Jamahiriya	Libyen, Jamahiriya arabe	1961-2003	MENA	Middle East and North Africa
Lithuania	Lituanie	1992-2003	OECD	OECD 1990
Macedonia, The Fmr Yug Rp	Macédoine, l'ex-Rép Youg	1992-2003	OECD	OECD 1990
Madagascar	Madagascar	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Malawi	Malawi	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Malaysia	Malaisie	1961-2003	ASIA	Asia
Mali	Mali	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Mauritania	Mauritanie	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Mexico	Mexique	1961-2003	LAM	Latin America
Moldova, Republic of	Moldova, République de	1992-2003	FSU	Former Soviet Union
Mongolia	Mongolie	1961-2003	ASIA	Asia
Morocco	Maroc	1961-2003	MENA	Middle East and North Africa
Mozambique	Mozambique	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Myanmar	Myanmar	1961-2003	ASIA	Asia
Namibia	Namibie	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Nepal	Népal	1961-2003	ASIA	Asia
Netherlands	Pays-Bas	1961-2003	OECD	OECD 1990
New Zealand	Nouvelle-Zélande	1961-2003	OECD	OECD 1990
Nicaragua	Nicaragua	1961-2003	LAM	Latin America
Niger	Niger	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Nigeria	Nigéria	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Norway	Norvège	1961-2003	OECD	OECD 1990
Pakistan	Pakistan	1961-2003	ASIA	Asia
Panama	Panama	1961-2003	LAM	Latin America
Paraguay	Paraguay	1961-2003	LAM	Latin America
Peru	Pérou	1961-2003	LAM	Latin America
Philippines	Philippines	1961-2003	ASIA	Asia
Poland	Pologne	1961-2003	OECD	OECD 1990
Portugal	Portugal	1961-2003	OECD	OECD 1990
Romania	Roumanie	1961-2003	OECD	OECD 1990
Russian Federation	Fédération de Russie	1992-2003	FSU	Former Soviet Union
Rwanda	Rwanda	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Saudi Arabia	Arabie saoudite	1961-2003	MENA	Middle East and North Africa
Senegal	Sénégal	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Sierra Leone	Sierra Leone	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Slovakia	Slovaquie	1993-2003	OECD	OECD 1990
Slovenia	Slovénie	1992-2003	OECD	OECD 1990
Solomon Islands	Salomon, Iles	1961-2003	ASIA	Asia
South Africa	Afrique du Sud	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Spain	Espagne	1961-2003	OECD	OECD 1990
Sri Lanka	Sri Lanka	1961-2003	ASIA	Asia
Sudan	Soudan	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Suriname	Suriname	1961-2003	LAM	Latin America
Swaziland	Swaziland	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Sweden	Suède	1961-2003	OECD	OECD 1990
Switzerland	Suisse	1961-2003	OECD	OECD 1990
Syrian Arab Republic	Syrienne, Rép arabe	1961-2003	MENA	Middle East and North Africa
Tajikistan	Tadjikistan	1992-2003	FSU	Former Soviet Union
Tanzania, United Rep of	Tanzanie, Rép unie de	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Thailand	Thaïlande	1961-2003	ASIA	Asia
Timor-Leste	Timor oriental	1961-2003	ASIA	Asia
Togo	Togo	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Tunisia	Tunisie	1961-2003	MENA	Middle East and North Africa
Turkey	Turquie	1961-2003	MENA	Middle East and North Africa
Turkmenistan	Turkménistan	1992-2003	FSU	Former Soviet Union
Uganda	Ouganda	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Ukraine	Ukraine	1992-2003	FSU	Former Soviet Union
United Arab Emirates	Émirats arabes unis	1961-2003	MENA	Middle East and North Africa
United Kingdom	Royaume-Uni	1961-2003	OECD	OECD 1990
United States of America	États-Unis d'Amérique	1961-2003	OECD	OECD 1990
Uruguay	Uruguay	1961-2003	LAM	Latin America
USSR (ex-)	URSS (ex-)	1961-1991	FSU	Former Soviet Union
Uzbekistan	Ouzbékistan	1992-2003	FSU	Former Soviet Union
Venezuela, Boliv Rep of	Venezuela, Rép boliv du	1961-2003	LAM	Latin America
Viet Nam	Viet Nam	1961-2003	ASIA	Asia
Yemen	Yémen	1961-2003	MENA	Middle East and North Africa
Yugoslavia SFR	Yougoslavie FRS	1961-1991	OECD	OECD 1990
Zambia	Zambie	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa
Zimbabwe	Zimbabwe	1961-2003	SSA	Sub-Saharan Africa

Annexe 2. Les lignes CDU classées en biomasses alimentaires

Biomasse (nom français)	(nom anglais)	Classement (compartiment)	(espèce)
Blé	Wheat	Végétaux	Cere
Riz (Eq Blanchi)	Rice (Milled Eq)	Végétaux	Cere
Huile de Son de Riz	Ricebran Oil	Végétaux	Cere
Orge	Barley	Végétaux	Cere
Maïs	Maize	Végétaux	Cere
Huile de Germe de Maïs	Maize Germ Oil	Végétaux	Cere
Seigle	Rye	Végétaux	Cere
Avoine	Oats	Végétaux	Cere
Millet	Millet	Végétaux	Cere
Sorgho	Sorghum	Végétaux	Cere
Céréales, Autres	Cereals, Other	Végétaux	Cere
Sons	Brans	Végétaux	Cere
Manioc	Cassava	Végétaux	Root
Pommes de Terre	Potatoes	Végétaux	Root
Patates Douce	Sweet Potatoes	Végétaux	Root
Ignames	Yams	Végétaux	Root
Racines, Nda	Roots, Other	Végétaux	Root
Canne à Sucre	Sugar Cane	Végétaux	Suga
Betteraves à Sucre	Sugar Beet	Végétaux	Suga
Sucre, Non-Centrifuge	Sugar, Non-Centrifugal	Végétaux	Suga
Sucre, Eq Brut	Sugar, Raw Equivalent	Végétaux	Suga
Mélasses	Molasses	Végétaux	Suga
Haricots	Beans	Végétaux	Puls
Pois	Peas	Végétaux	Puls
Légumineuses, Autres	Pulses, Other	Végétaux	Puls
Fruit Coque	Treenuts	Végétaux	Olea
Soja (Fèves)	Soyabeans	Végétaux	Olea
Arachides (Décortiquées)	Groundnuts (Shelled Eq)	Végétaux	Olea
Tournesol (Graines)	Sunflowerseed	Végétaux	Olea
Colza, Moutarde (Graines)	Rape & Mustardseed	Végétaux	Olea
Coton (Graines)	Cottonseed	Végétaux	Olea
Coco (Incl Coprah)	Coconuts (Incl Copra)	Végétaux	Olea
Sésame (Graines)	Sesameseed	Végétaux	Olea
Palme (Amandes)	Palmkernels	Végétaux	Olea
Olives	Olives	Végétaux	Olea
Plantes Oléifères, Autres	Oilcrops, Other	Végétaux	Olea
Huile de Soja	Soyabean Oil	Végétaux	Olea
Huile d'Arachide	Groundnut Oil	Végétaux	Olea
Huile de Tournesol	Sunflowerseed Oil	Végétaux	Olea
Huile de Colza, Moutarde	Rape & Mustard Oil	Végétaux	Olea
Huile Graines de Coton	Cottonseed Oil	Végétaux	Olea
Huile de Sésame	Sesameseed Oil	Végétaux	Olea
Huiles Végétales, Autres	Oilcrops Oil, Other	Végétaux	Olea
Tourteau de Soja	Soyabean Cake	Végétaux	Olea
Tourteau d'Arachide	Groundnut Cake	Végétaux	Olea
Tourteau de Tournesol	Sunflowerseed Cake	Végétaux	Olea
Tourteau de Colza/Moutarde	Rape and Mustard Cake	Végétaux	Olea
Tourteau de Coton	Cottonseed Cake	Végétaux	Olea
Tourteau de Sésame	Sesameseed Cake	Végétaux	Olea
Tourteau, Autres	Oilseed Cakes, Other	Végétaux	Olea
Huile de Palmistes	Palmkernel Oil	Végétaux	Olea
Huile de Palme	Palm Oil	Végétaux	Olea
Huile de Coco	Coconut Oil	Végétaux	Olea
Huile d'Olive	Olive Oil	Végétaux	Olea
Tourteau de Palmiste	Palmkernel Cake	Végétaux	Olea
Tourteau de Coprah	Copra Cake	Végétaux	Olea
Tomates	Tomatoes	Végétaux	Vege
Oignons	Onions	Végétaux	Vege
Légumes, Autres	Vegetables, Other	Végétaux	Vege
Oranges, Mandarines	Oranges, Mandarines	Végétaux	Fru
Citrons, Limes	Lemons, Limes	Végétaux	Fru
Pamplemousse	Grapefruit	Végétaux	Fru
Agrumes, Autres	Citrus, Other	Végétaux	Fru
Banane	Bananas	Végétaux	Fru
Plantains	Plantains	Végétaux	Fru
Pommes	Apples	Végétaux	Fru
Ananas	Pineapples	Végétaux	Fru
Datte	Dates	Végétaux	Fru
Raisin	Grapes	Végétaux	Fru

Fruits, Autres	Fruits, Other	Végétaux	Fru
Edulcorants, Autres	Sweeteners, Other	Végétaux	Othe
Miel	Honey	Végétaux	Othe
Piments	Pimento	Végétaux	Othe
Épices, Autres	Spices, Other	Végétaux	Othe
Divers Alimentaire	Misc. Food	Végétaux	Othe
Café	Coffee	Végétaux	Othe
Fève de Cacao	Cocoa Beans	Végétaux	Othe
Thé	Tea	Végétaux	Othe
Poivre	Pepper	Végétaux	Othe
Clou	Cloves	Végétaux	Othe
Vin	Wine	Végétaux	Alco
Bière	Beer	Végétaux	Alco
Boissons Fermentées	Beverages, Fermented	Végétaux	Alco
Boissons Alcooliques	Beverages, Alcoholic	Végétaux	Alco
Viande de Bovins	Bovine Meat	Ruminants	Rumi
Viande d'Ovins, Caprins	Mutton & Goat Meat	Ruminants	Rumi
Viande, Autres	Meat, Other	Ruminants	Rumi
Abats Comestible	Offals, Edible	Ruminants	Rumi
Lait (Excl Beurre)	Milk (Excl Butter)	Ruminants	Rumi
Beurre, Ghee	Butter, Ghee	Ruminants	Rumi
Crème	Cream	Ruminants	Rumi
Graisses Animales (Crue)	Fats, Animals (Raw)	Ruminants	Rumi
Farines de Viande	Meat Meal	Ruminants	Rumi
Viande de Suides	Pigmeat	Monogastriques	Pigs
Viande de Volailles	Poultry Meat	Monogastriques	Poul
Oeufs	Eggs	Monogastriques	Poul
Poissons d'Eau Douce	Freshwater Fish	Eaux douces	Aqua
Huiles de Poissons	Fish, Body Oil	Eaux marines	Mari
Huiles de Foie de Poisson	Fish, Liver Oil	Eaux marines	Mari
Perciform	Demersal Fish	Eaux marines	Mari
Poissons Pélagiques	Pelagic Fish	Eaux marines	Mari
Poissons Marins, Autres	Marine Fish, Other	Eaux marines	Mari
Crustacés	Crustaceans	Eaux marines	Mari
Céphalopodes	Cephalopods	Eaux marines	Mari
Mollusques, Autres	Molluscs, Other	Eaux marines	Mari
Viande d'Animaux Aquatiques	Meat, Aquatic Mammals	Eaux marines	Mari
Animaux Aquatiques, Autres	Aquatic Animals, Other	Eaux marines	Mari
Farines de Poisson	Fish Meal	Eaux marines	Mari
Plantes Aquatiques	Aquatic Plants	Eaux marines	Mari

Annexe 3. Les populations humaines

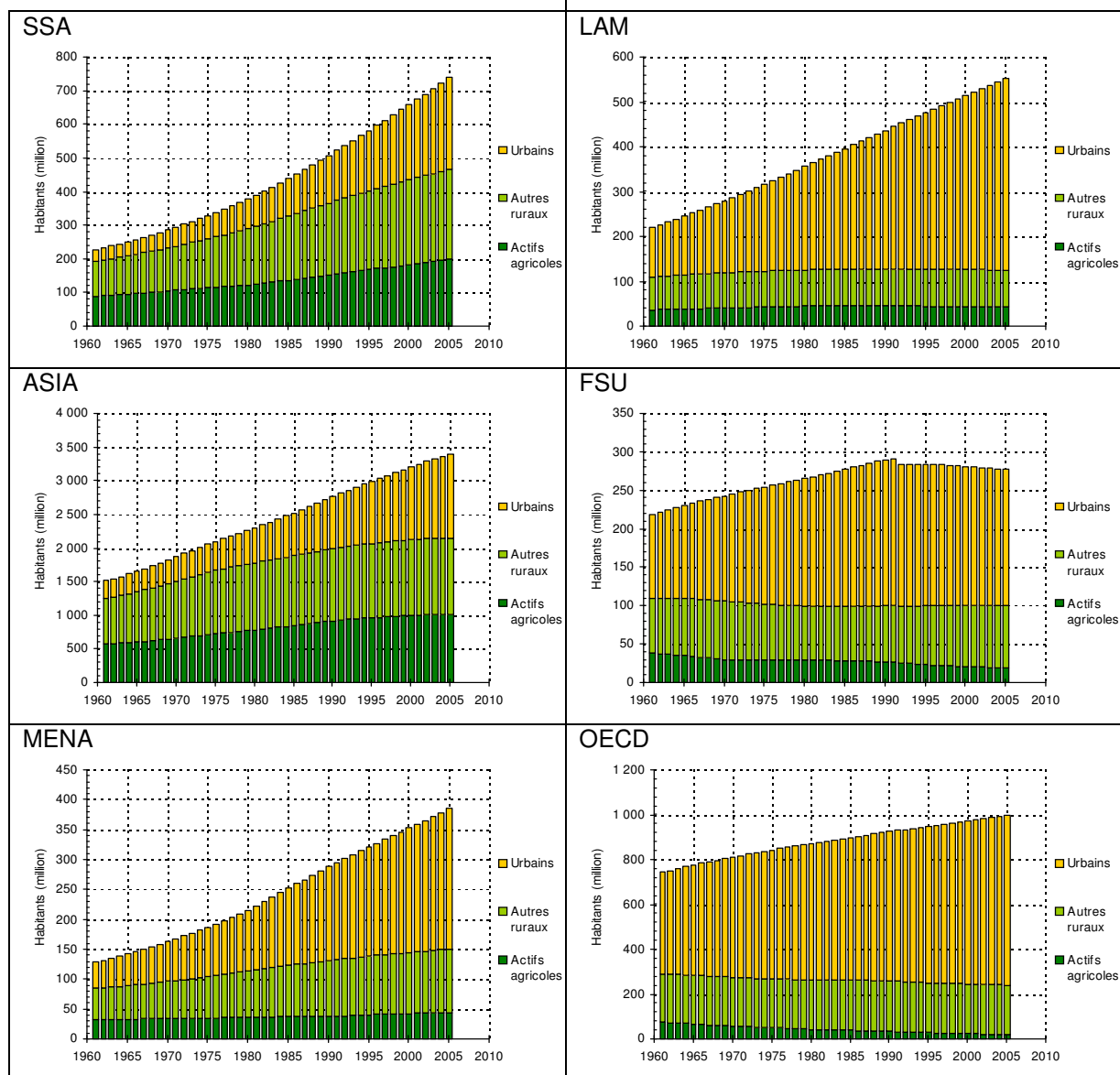
Figure 50. Planche de l'Annexe 3

Evolution 1961-2003 des populations humaines (millions d'habitants) subdivisées en trois catégories :

- (1) Actifs agricoles
- (2) Autres ruraux (Population totale – Actifs agricoles – Urbains)
- (3) Urbains

Estimations Monde (pays Agrimonde) et par région MEA

Source : B. Dorin, à partir de données FAO



Annexe 4. Le disponible pour l'alimentation

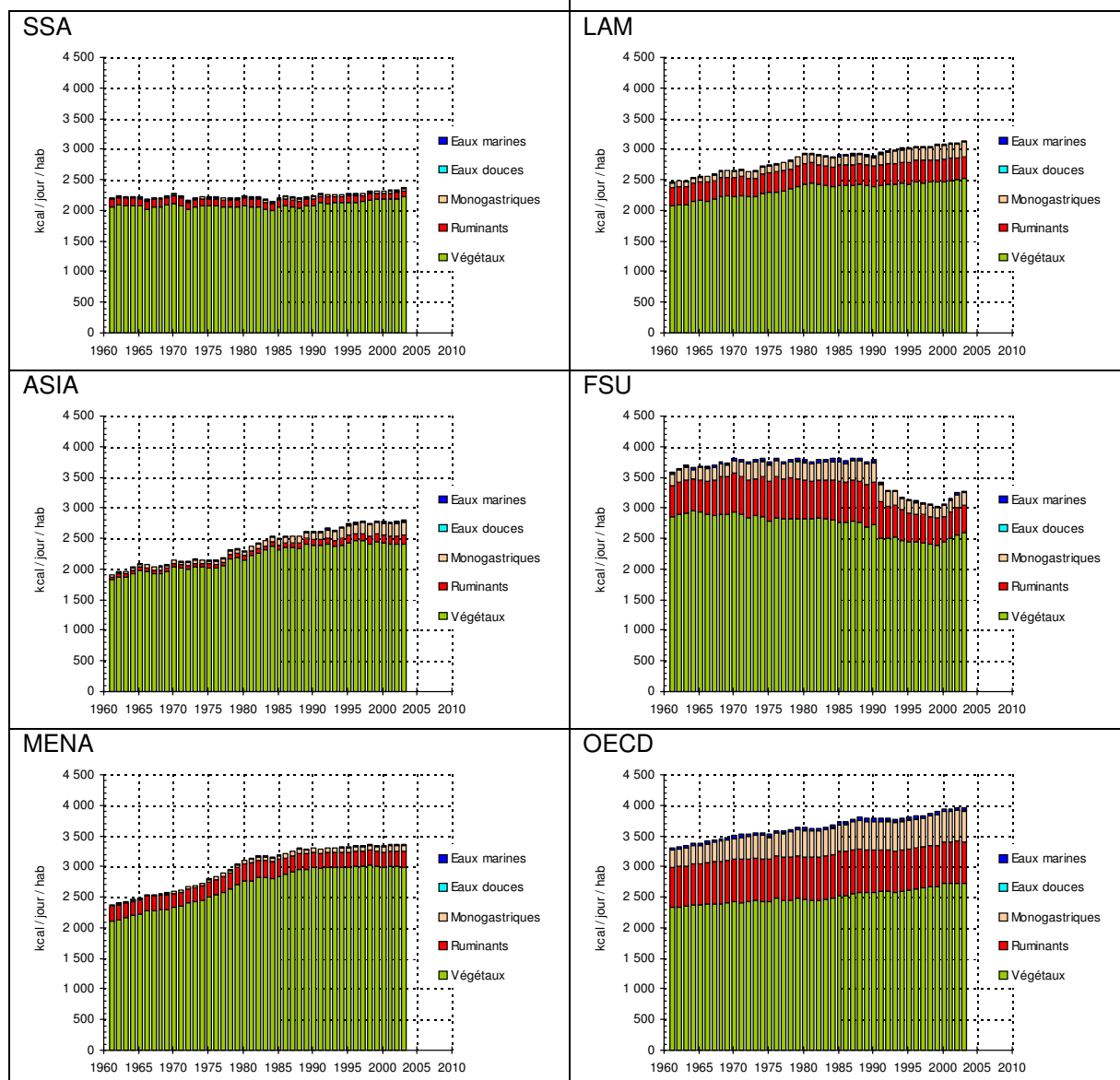
Figure 51. Planche de l'Annexe 4

Evolution 1961-2003 des consommations moyennes apparentes en calories alimentaires (kcal / jour / habitant) et de leur composition selon 5 catégories d'origine des produits :

- (1) Végétaux
- (2) Ruminants (et gros herbivores)
- (3) Monogastriques
- (4) Eaux douces
- (5) Eaux marines

Estimations Monde (pays Agrimonde) et par région MEA

Source : B. Dorin, à partir de données FAO



Annexe 5. L'occupation des terres

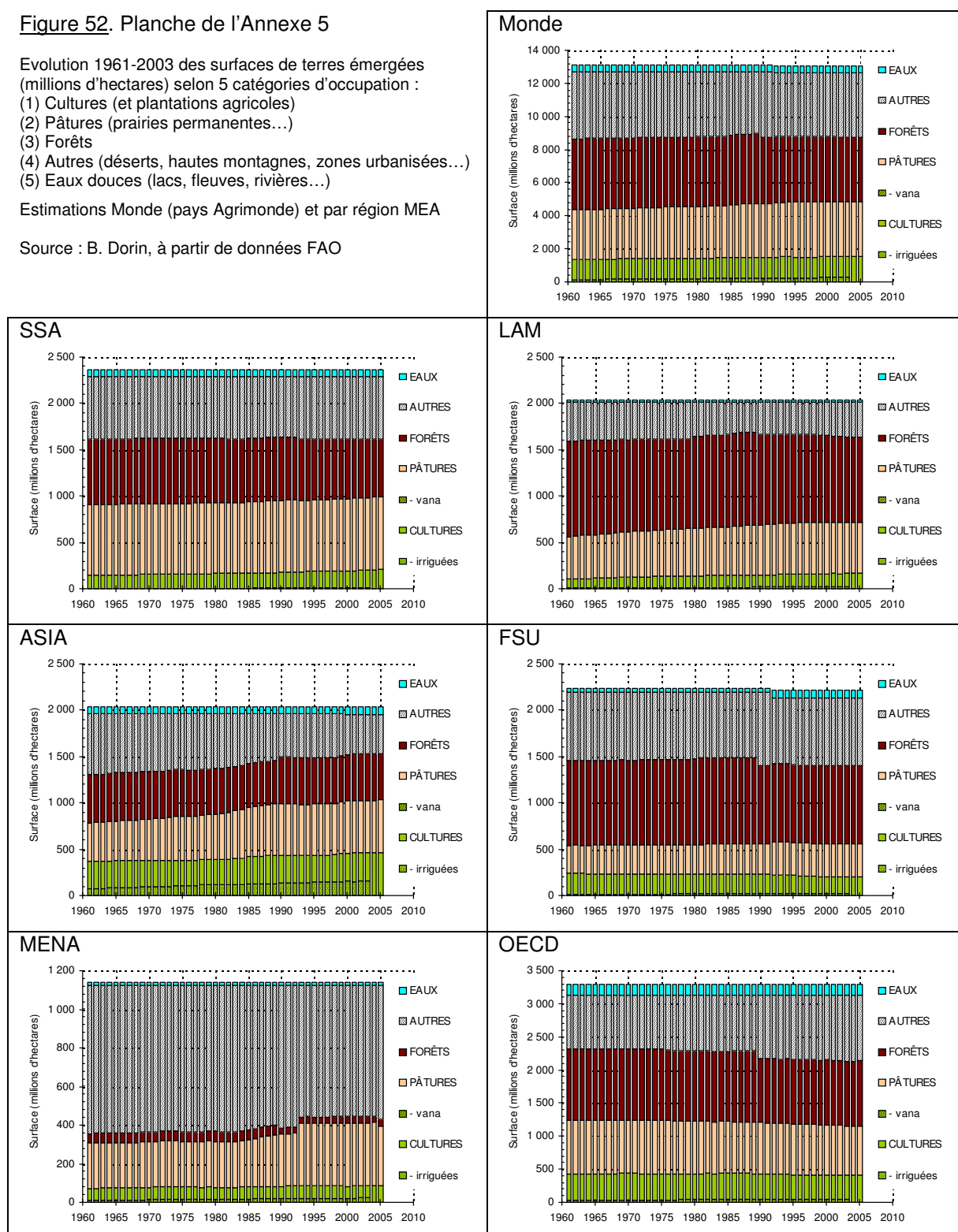
Figure 52. Planche de l'Annexe 5

Evolution 1961-2003 des surfaces de terres émergées (millions d'hectares) selon 5 catégories d'occupation :

- (1) Cultures (et plantations agricoles)
- (2) Pâtures (prairies permanentes...)
- (3) Forêts
- (4) Autres (déserts, hautes montagnes, zones urbanisées...)
- (5) Eaux douces (lacs, fleuves, rivières...)

Estimations Monde (pays Agrimonde) et par région MEA

Source : B. Dorin, à partir de données FAO



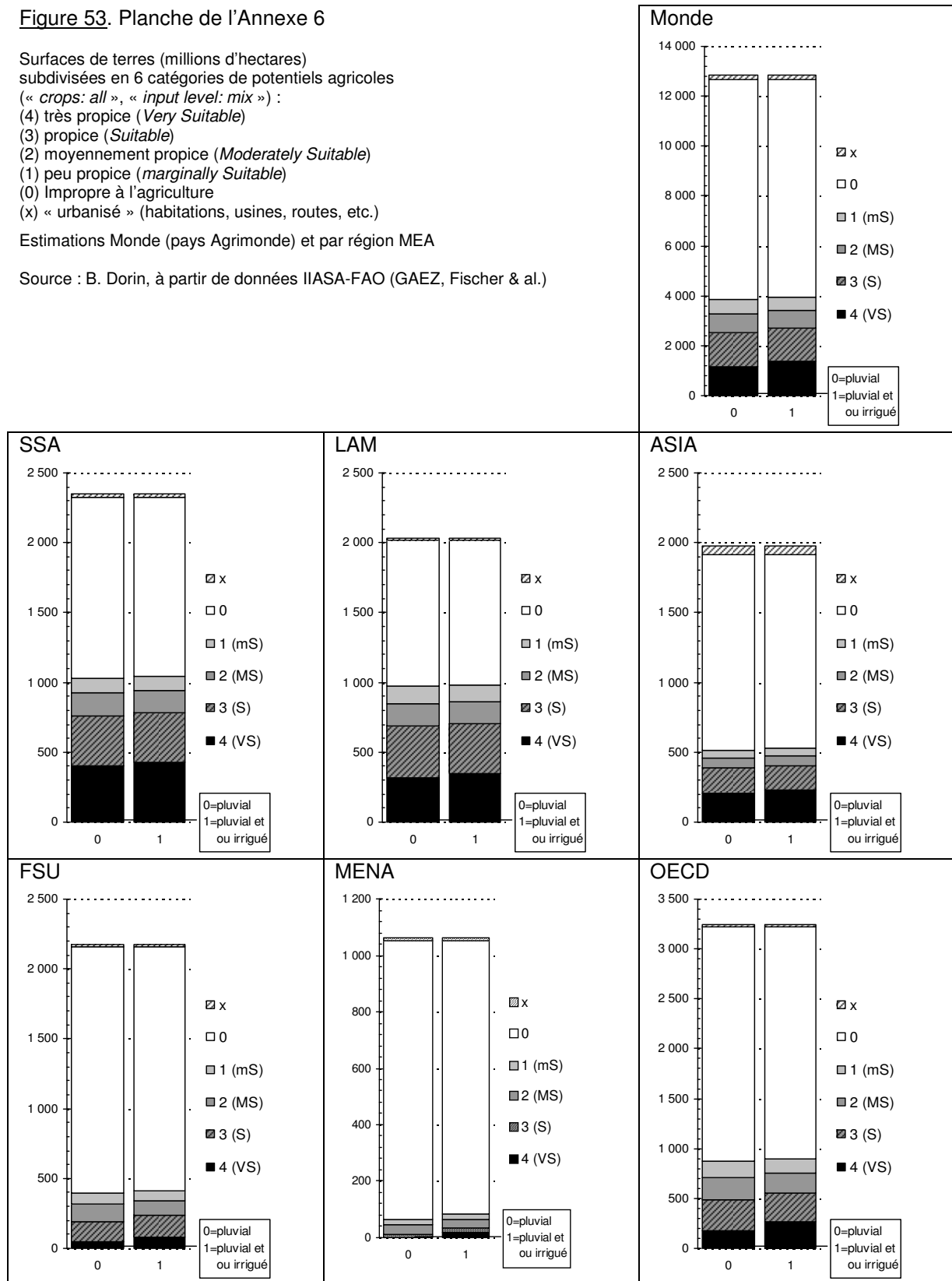
Annexe 6. Les potentiels cultivables

Figure 53. Planche de l'Annexe 6

Surfaces de terres (millions d'hectares)
subdivisées en 6 catégories de potentiels agricoles
(« crops: all », « input level: mix ») :
(4) très propice (*Very Suitable*)
(3) propice (*Suitable*)
(2) moyennement propice (*Moderately Suitable*)
(1) peu propice (*marginally Suitable*)
(0) Impropre à l'agriculture
(x) « urbanisé » (habitations, usines, routes, etc.)

Estimations Monde (pays Agrimonde) et par région MEA

Source : B. Dorin, à partir de données IIASA-FAO (GAEZ, Fischer & al.)



Annexe 7. Les productions alimentaires

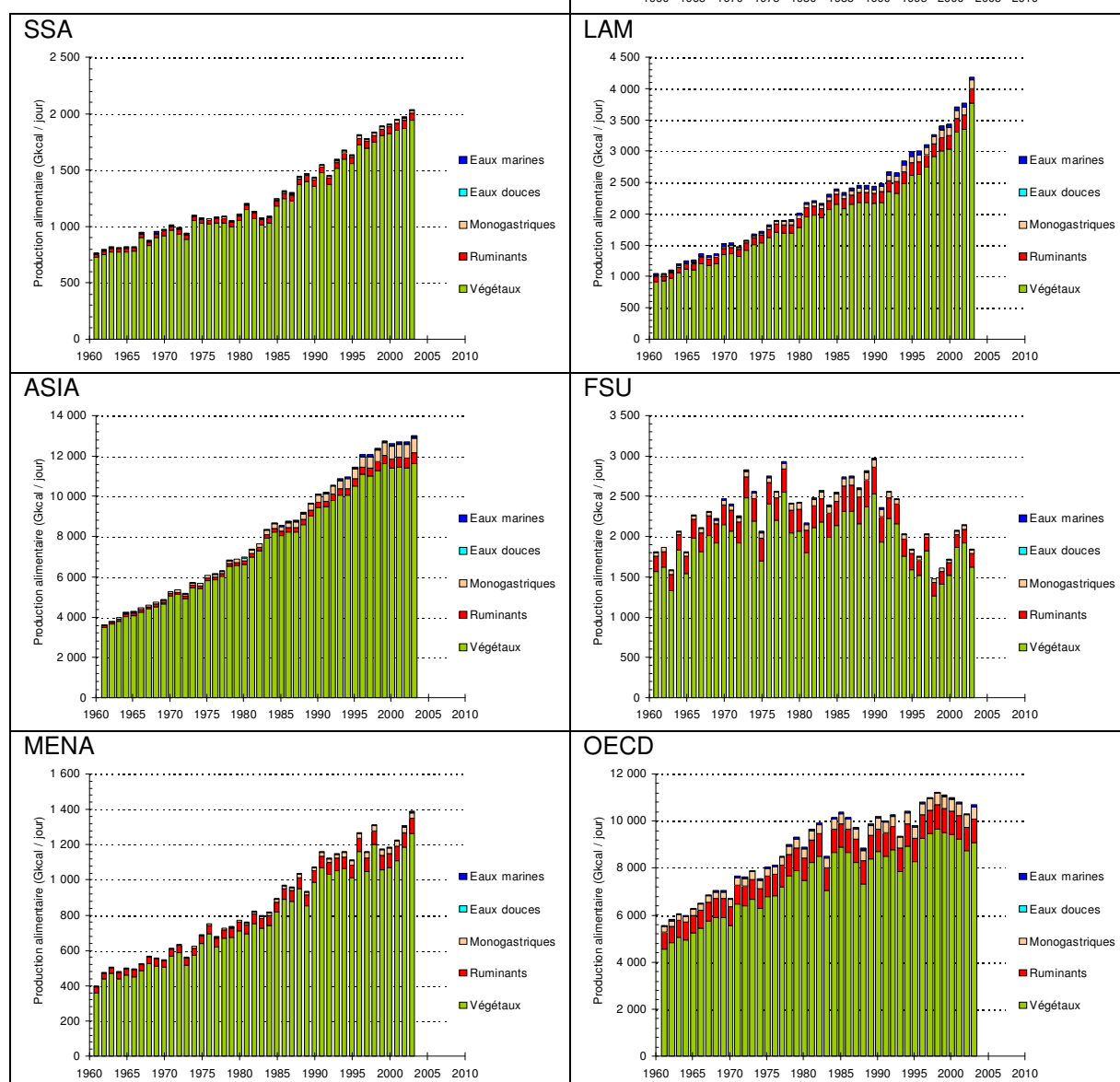
Figure 54 Planche de l'Annexe 7

Evolution 1961-2003 des productions brutes de calories alimentaires (Gkcal / jour) suivant 5 catégories de produits :

- (1) Végétaux
- (2) Ruminants (et gros herbivores)
- (3) Monogastriques
- (4) Eaux douces
- (5) Eaux marines

Estimations Monde (pays Agrimonde) et par région MEA

Source : B. Dorin, à partir de données FAO



Annexe 8. La productivité des espaces

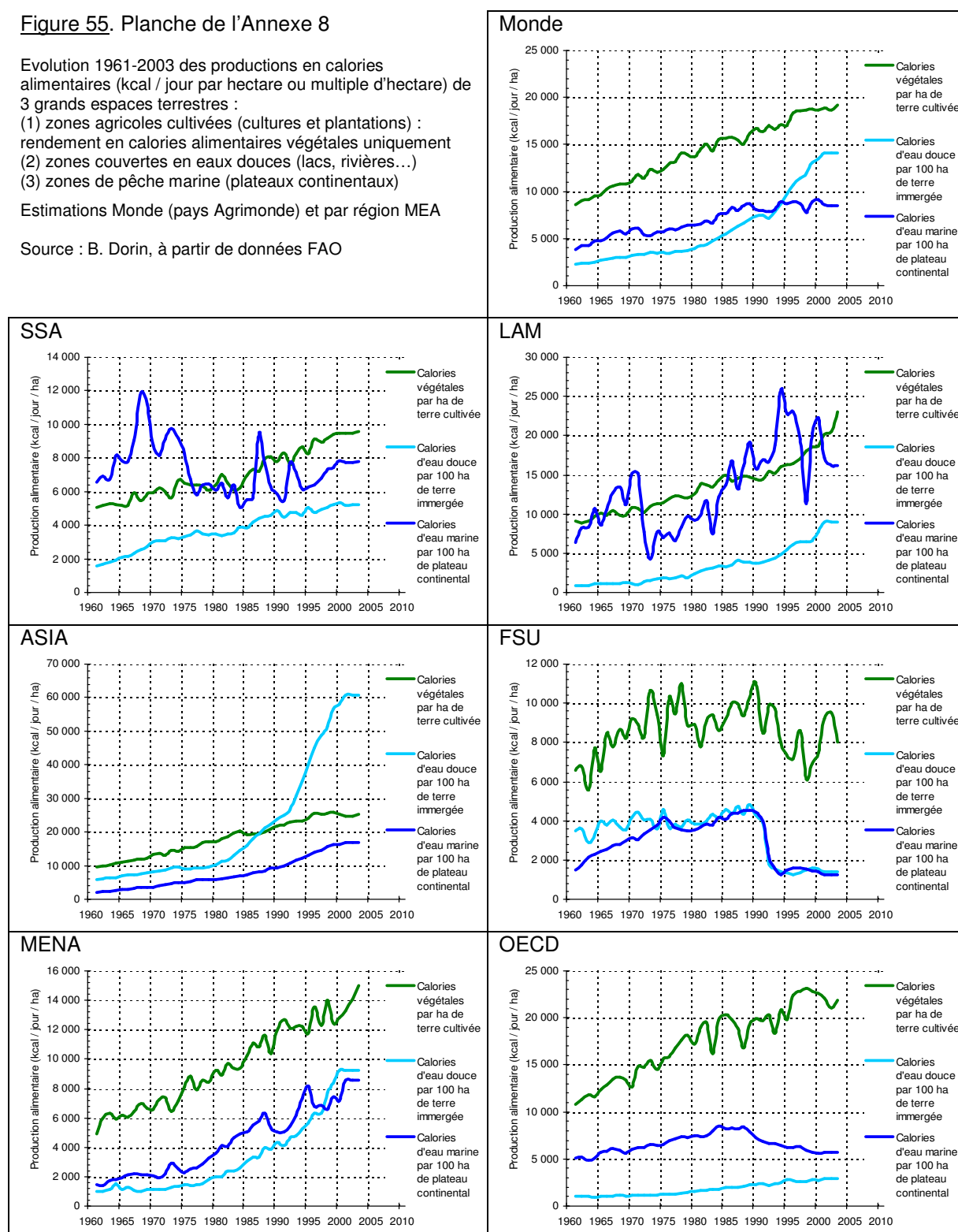
Figure 55. Planche de l'Annexe 8

Evolution 1961-2003 des productions en calories alimentaires (kcal / jour par hectare ou multiple d'hectare) de 3 grands espaces terrestres :

- (1) zones agricoles cultivées (cultures et plantations) :
- rendement en calories alimentaires végétales uniquement
- (2) zones couvertes en eaux douces (lacs, rivières...)
- (3) zones de pêche marine (plateaux continentaux)

Estimations Monde (pays Agrimonde) et par région MEA

Source : B. Dorin, à partir de données FAO



Annexe 9. L'usage des produits alimentaires végétaux

Figure 56. Planche A de l'Annexe 9

Evolution 1961-2003 des disponibilités en calories alimentaires végétales (Gkcal / jour) et de leur usage selon 6 catégories :

- (1) Alimentation humaine
- (2) Alimentation animale
- (3) Valorisations agricoles non-alimentaires (Vana)
- (4) Semences, reproduction
- (5) Pertes (entre récoltes et mises à disposition)
- (6) non connu, non-inventorié (i.e. Productions + Imports – Exports +/- Δ Stocks – Usages inventoriés)

Estimations Monde (pays Agrimonde) et par région MEA

Source : B. Dorin, à partir de données FAO

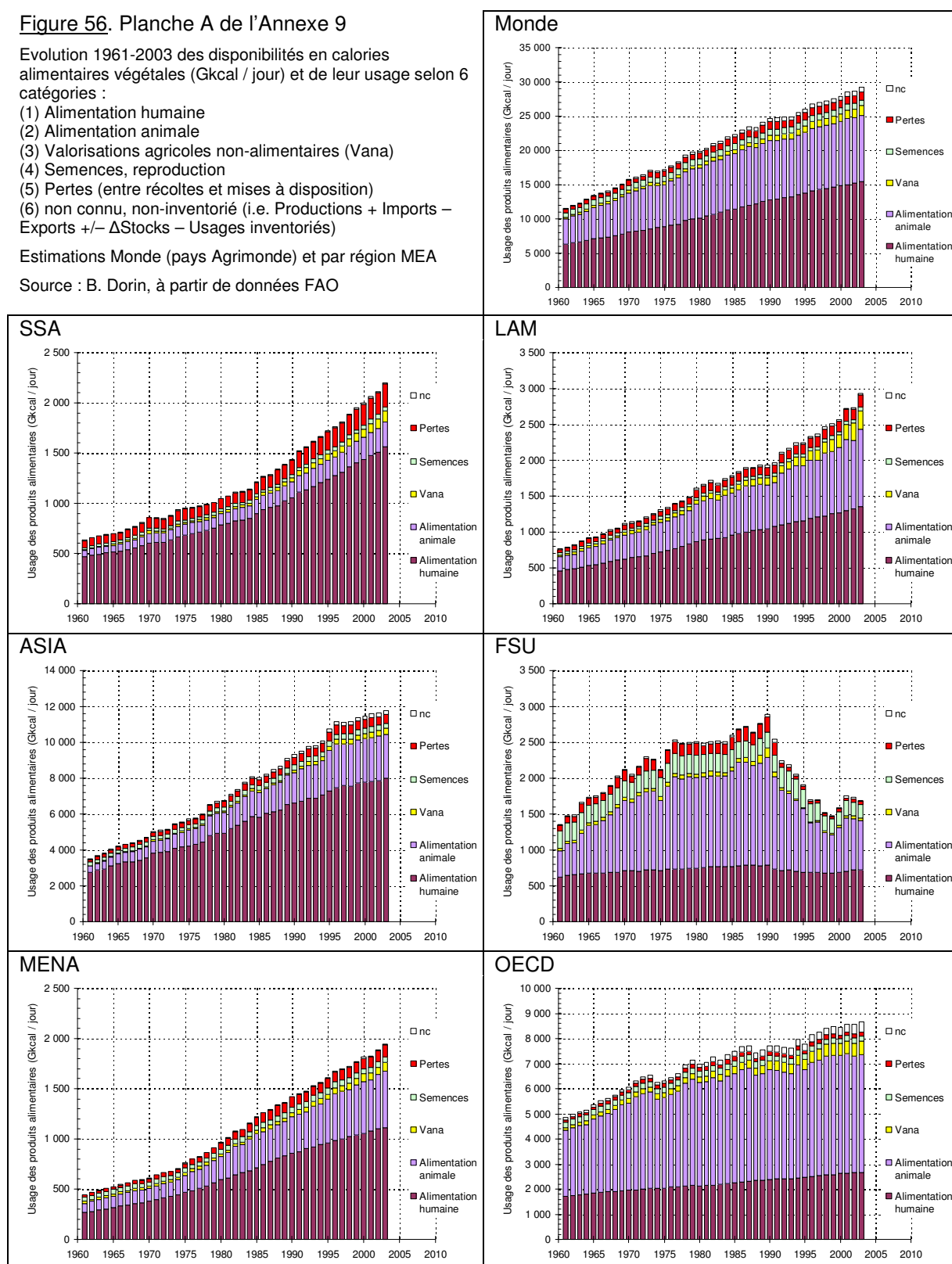
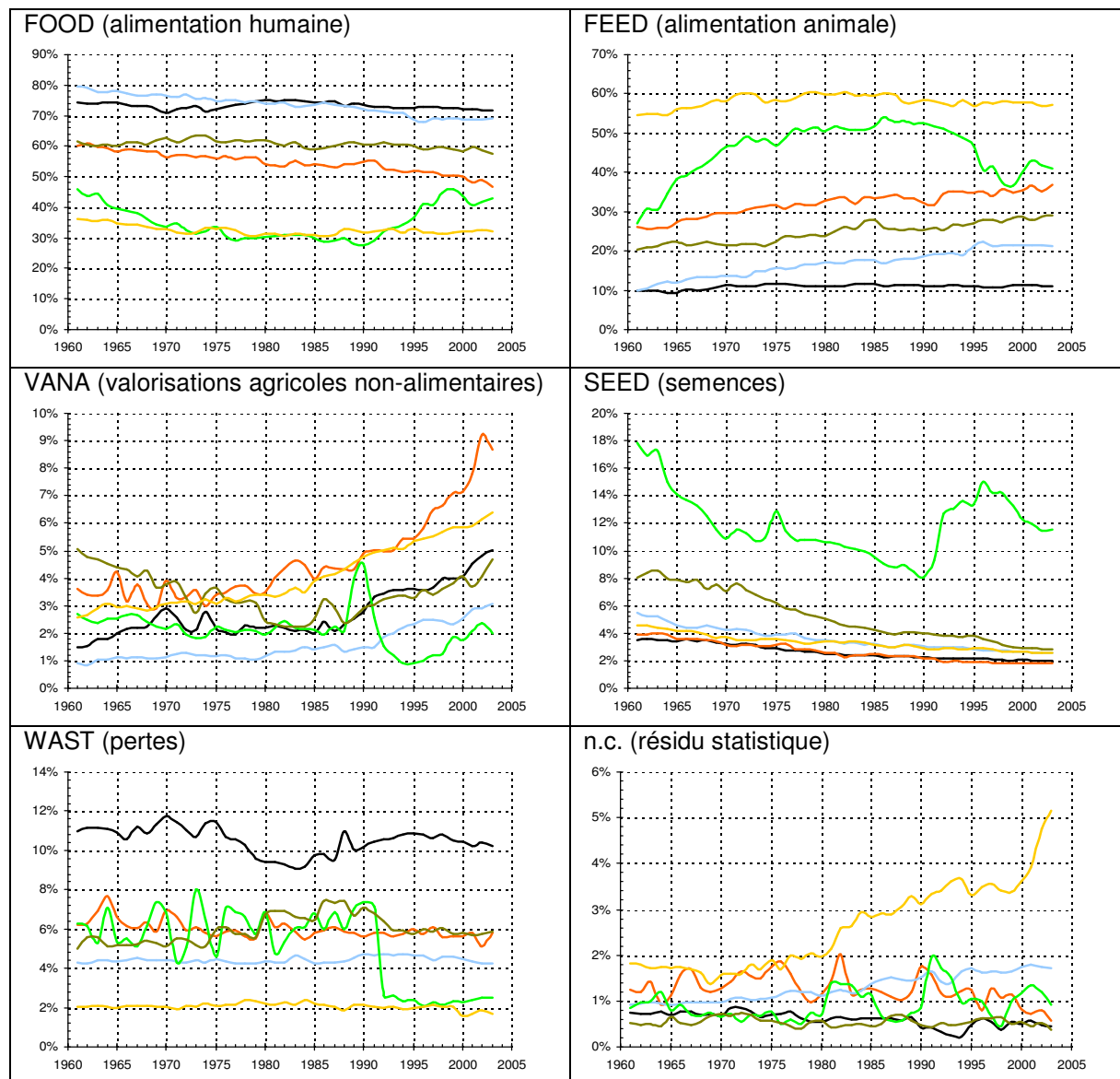


Figure 57. Planche B de l'Annexe 9

Evolutions 1961-2003 des parts d'usage de calories alimentaires disponibles sur le total des usages inventoriés (%) ; Estimations par région MEA (pays Agrimonde) pour 6 rubriques respectives :
 FOOD = Alimentation humaine
 FEED = Alimentation animale
 VANA = Valorisations agricoles non-alimentaires
 SEED = Semences
 WAST = Pertes (entre récoltes et mises à disposition)
 n.c. = non connu, non-inventorié (i.e. Productions + Imports – Exports +/- Δ Stocks – Usages inventoriés)
 Source : B. Dorin, à partir de données FAO

— SSA
 — LAM
 — ASIA
 — FSU
 — MENA
 — OECD



Annexe 10. Le commerce de produits alimentaires

Figure 58. Planche de l'Annexe 10

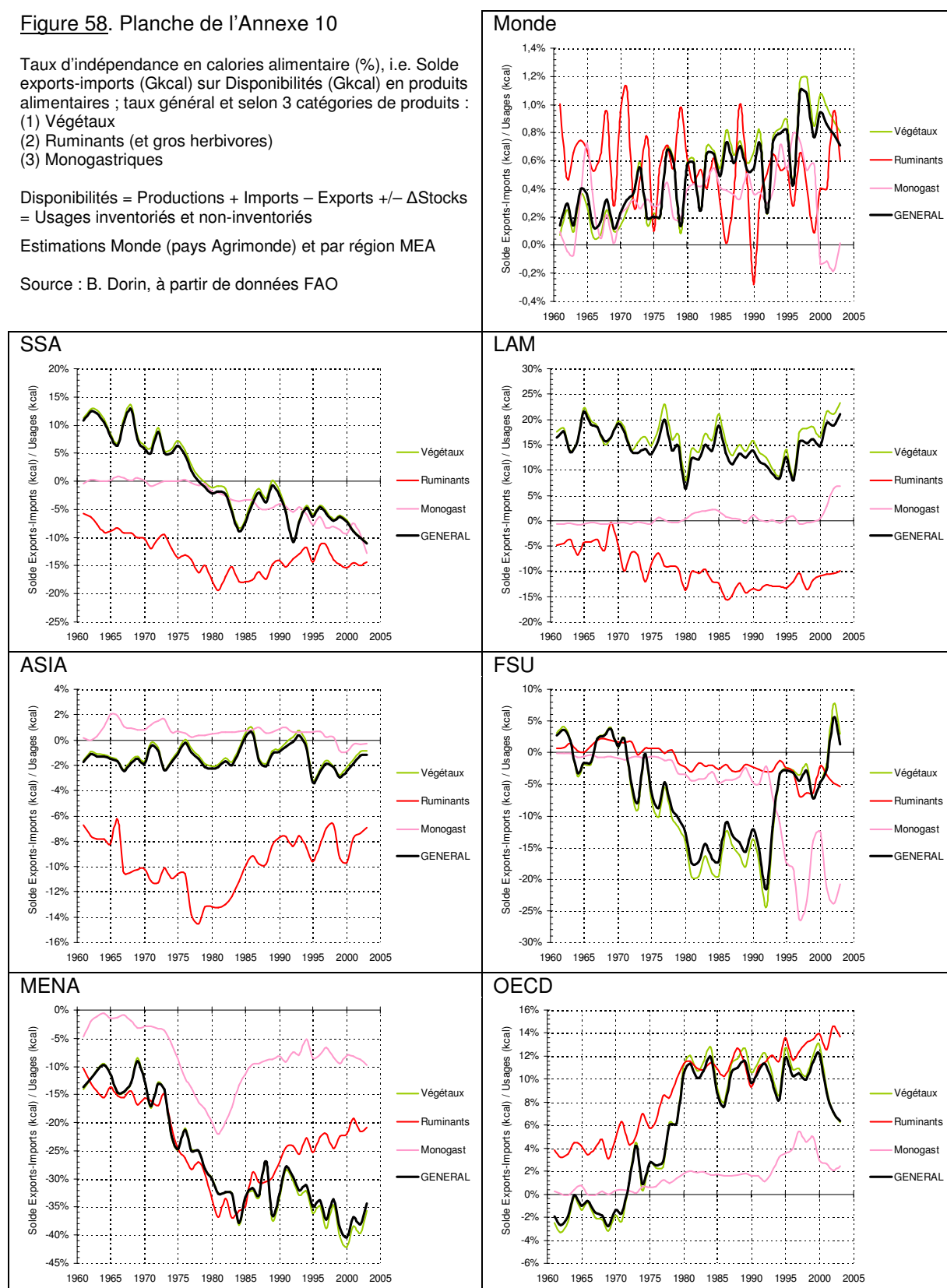
Taux d'indépendance en calories alimentaire (%), i.e. Solde exports-imports (Gkcal) sur Disponibilités (Gkcal) en produits alimentaires ; taux général et selon 3 catégories de produits :

- (1) Végétaux
- (2) Ruminants (et gros herbivores)
- (3) Monogastriques

Disponibilités = Productions + Imports – Exports \pm Δ Stocks
= Usages inventoriés et non-inventoriés

Estimations Monde (pays Agrimonde) et par région MEA

Source : B. Dorin, à partir de données FAO



Annexe 11. Comparaison des productions animales observées et simulées

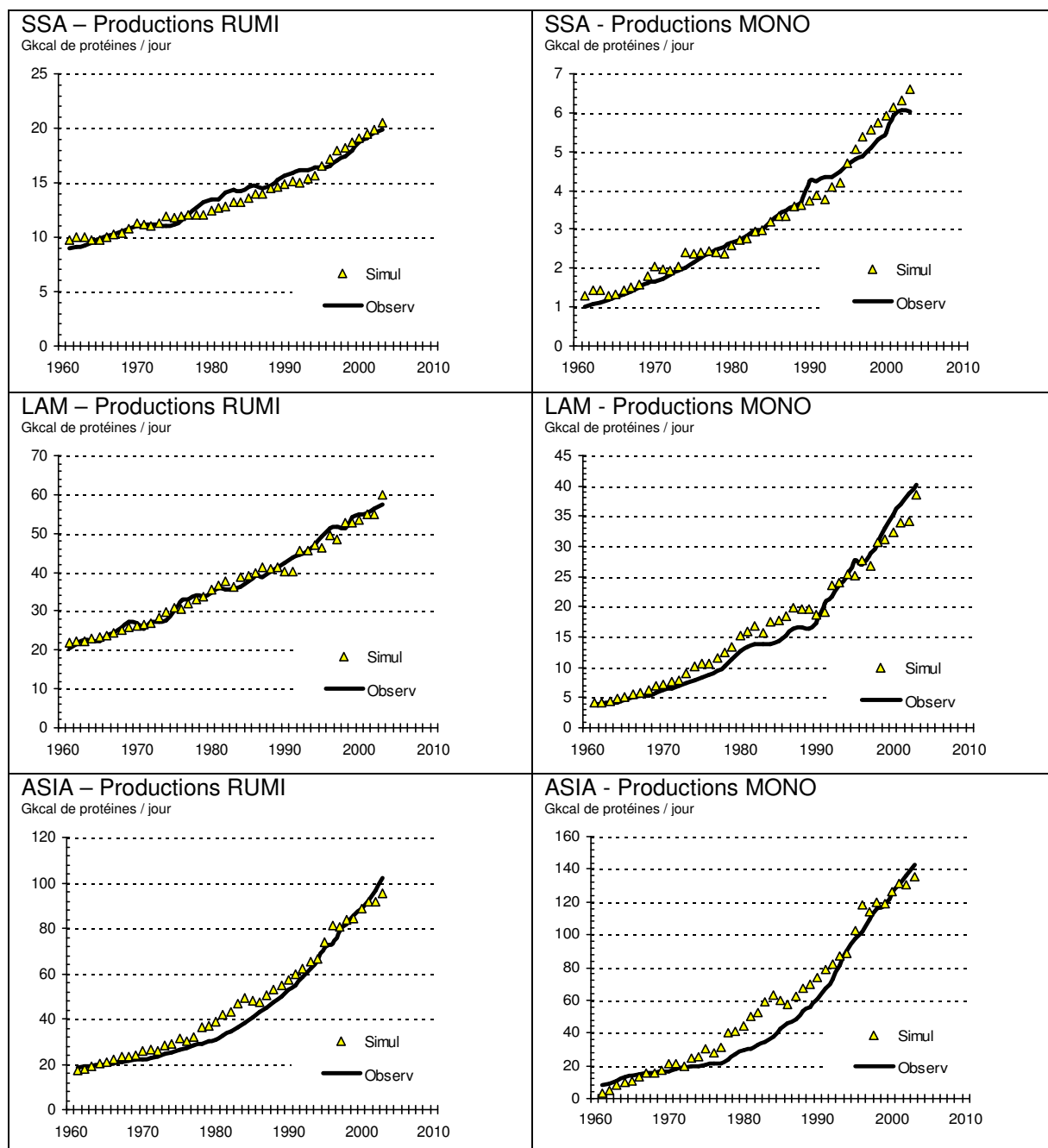
Figure 59. Planche de Annexe 11

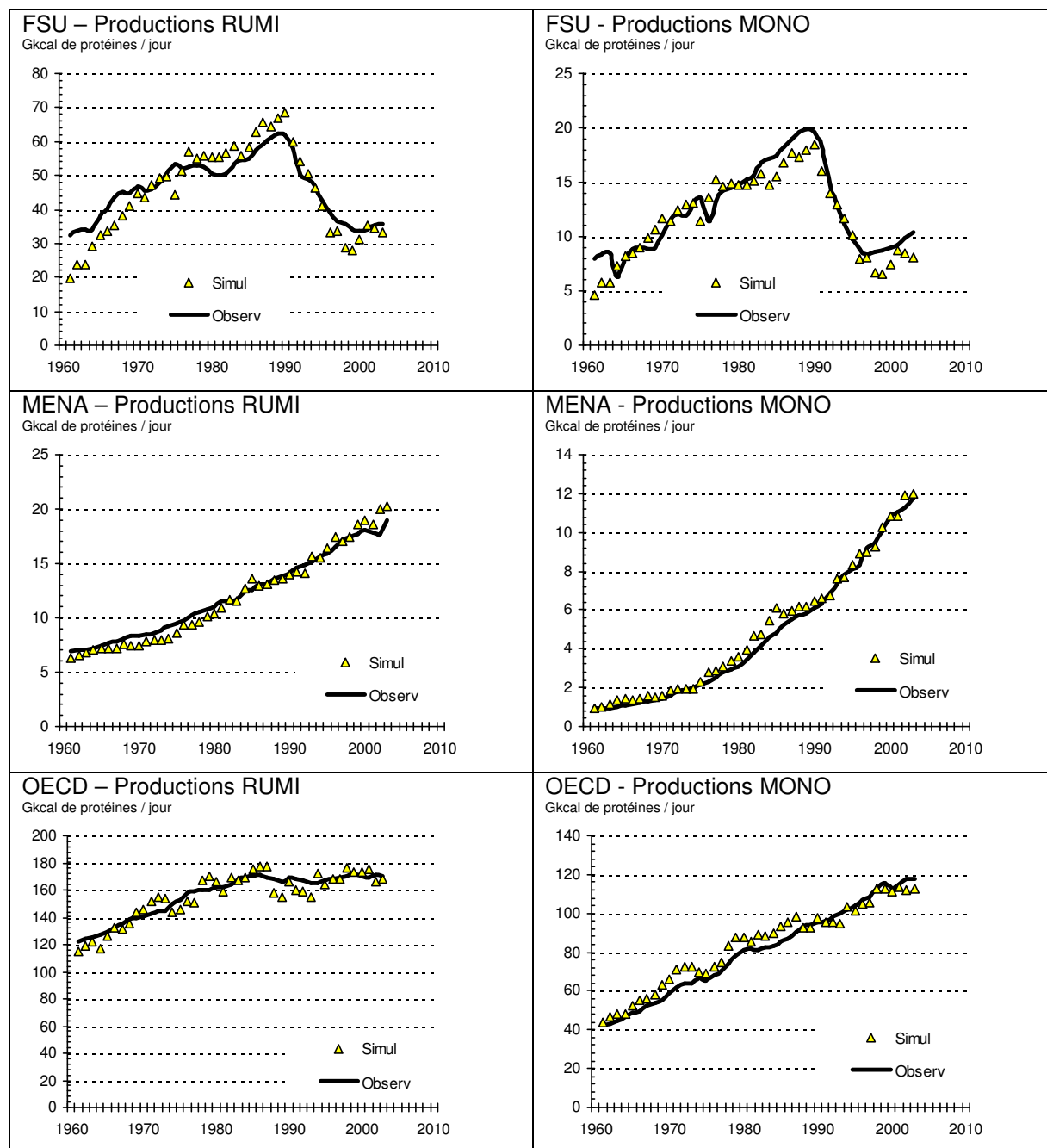
Comparaison 1961-2003 des productions alimentaires animales observées (Gkcal de protéines) et simulées avec les fonctions régionales de production utilisées pour la prospective Agrimonde, suivant 2 catégories de produits :

- (1) Ruminants (et gros herbivores)
- (2) Monogastriques

Estimations et simulations par région MEA

Source : B. Dorin, T. Le Cotty





Annexe 12. Principales hypothèses des simulations Agrimonde

(1) Hypothèses liées aux productions de calories alimentaires

			1961	2003	2050 AG1 variante 1	2050 AG1 variante 2	2050 AGO variante 1	2050 AGO variante 2
Surfaces (1000 ha)	cultivées	OECD	426495	415865	495000	495000	467000	467000
		SSA	143921	202262	339000	339000	303000	303000
		FSU	239800	201736	310000	310000	223000	223000
		ASIA	368545	461249	560000	560000	504000	504000
		LAM	102362	163882	310000	310000	266000	266000
		MENA	73112	84049	90000	90000	93000	93000
		Total	1354235	1529043	2104000	2104000	1856000	1856000
	dont non alimentaires	OECD	0	0	95000	95000	66000	66000
		SSA	0	0	39000	39000	40000	40000
		FSU	0	0	10000	10000	36000	36000
		ASIA	0	0	20000	20000	28000	28000
		LAM	0	0	60000	60000	47000	47000
		MENA	0	0	200	200	56	56
		Total	0	0	224200	224200	217056	217056
	pâtures	OECD	816819	736014	576000	576000	608000	608000
		SSA	767346	783878	691000	691000	1161000	1161000
		FSU	302000	360193	300000	300000	212000	212000
		ASIA	415642	564777	512000	512000	735000	735000
		LAM	461731	553323	444625	444625	548000	548000
		MENA	234623	327803	321000	321000	320000	320000
		Total	2998161	3325988	2844625	2844625	3584000	3584000
	forêts	OECD	1070679	980752	1077644	1077644	1460000	1460000
		SSA	706733	625368	580425	580425	276000	276000
		FSU	913000	842734	842734	842734	1413000	1413000
		ASIA	526033	499932	445434	445434	367000	367000
		LAM	1030215	922491	900000	900000	937000	937000
		MENA	49193	33501	32965	32965	9000	9000
		Total	4295853	3904776	3877801	3828801	4462000	4462000
Rendements (kcal/jour.ha)	VEGE	OECD	10742	21904	22600	22600	33507	33507
		SSA	5027	9582	11750	11750	23133	23133
		FSU	6549	8026	14500	14500	12825	12825
		ASIA	9485	25251	25100	25100	46416	46416
		LAM	9041	22979	23500	23500	36494	36494
		MENA	4921	15010	14500	14500	21362	21362
		Total	8607	19189	20027	20027	32942	32942
Productions animales (Gkcal/jour)	RUMI	OECD	711	1068	519	1034	1735	1735
		SSA	31	70	569	22	157	157
		FSU	185	160	88	551	323	323
		ASIA	89	500	773	232	1481	1481
		LAM	80	240	262	447	734	734
		MENA	33	93	230	26	27	27
		Total	1128	2132	2441	2312	4457	4457
	MONO	OECD	215	497	113	491	1003	1003
		SSA	4	23	283	0	61	61
		FSU	43	36	18	139	80	80
		ASIA	39	687	1145	249	2299	2299
		LAM	19	137	169	331	568	568
		MENA	3	33	105	-2	-1	-1
		Total	323	1412	1833	1207	4009	4009

(2) Hypothèses liées aux usages de calories alimentaires

			1961	2003	2050	2050	2050	2050
					AG1	AG1	AGO	AGO
					variante 1	variante 2	variante 1	variante 2
Populations (1000 hab)		OECD	743048	986872	1066211	1066211	1066211	1066211
		SSA	226577	705887	1662000	1662000	1662000	1662000
		FSU	217854	279012	239212	239212	239212	239212
		ASIA	1510658	3322361	4427101	4427101	4427101	4427101
		LAM	219691	537949	773659	773659	773659	773659
		MENA	128242	371745	631964	631964	631964	631964
		Total	3046070	6203826	8800147	8800147	8800147	8800147
Ration humaine (kcal/jour.hab)	VEGE	OECD	2325	2721	2500	2500	2385	2385
		SSA	2057	2218	2500	2500	2667	2667
		FSU	2854	2586	2500	2500	2091	2091
		ASIA	1821	2404	2500	2500	2766	2766
		LAM	2069	2528	2500	2500	2758	2758
		MENA	2115	2995	2500	2500	2987	2987
		Total	2066	2488	2500	2500	2698	2698
	RUMI	OECD	659	675	251	251	925	925
		SSA	121	102	129	129	214	214
		FSU	503	451	251	251	947	947
		ASIA	54	149	159	159	428	428
		LAM	297	357	251	251	507	507
		MENA	235	249	222	222	319	319
		Total	264	265	180	180	461	461
	MONO	OECD	282	512	200	200	703	703
		SSA	17	33	350	350	69	69
		FSU	196	213	212	212	349	349
		ASIA	25	209	253	253	443	443
		LAM	87	240	207	207	385	385
		MENA	21	96	238	238	123	123
		Total	104	233	259	259	373	373
Utilisations totales (Gkcal/jour)	VEGE	OECD	5164	8669	4856	8590	13357	13357
		SSA	632	2191	7515	4426	6084	6084
		FSU	1251	1580	1017	3900	2318	2318
		ASIA	3695	11807	16732	13554	22094	22094
		LAM	954	3109	3977	5425	7913	7913
		MENA	493	1985	3549	1752	2223	2223
		Total	12190	29341	37646	37646	53990	53990
	RUMI	OECD	730	953	445	445	1425	1425
		SSA	34	82	243	243	405	405
		FSU	171	171	66	66	290	290
		ASIA	61	542	795	795	2212	2212
		LAM	97	267	273	273	534	534
		MENA	43	117	178	178	254	254
		Total	1135	2132	2000	2000	5120	5120
	MONO	OECD	183	484	187	187	729	729
		SSA	7	26	609	608	122	122
		FSU	33	49	40	40	73	73
		ASIA	19	688	1122	1122	1980	1980
		LAM	13	127	158	159	302	302
		MENA	2	37	157	157	81	81
		Total	257	1412	2274	2273	3287	3287
dont alimentation animale (Gkcal/jour)	VEGE	OECD	2608	4712	1311	4672	9093	9093
		SSA	62	245	2906	0	639	639
		FSU	365	686	350	2761	1537	1537
		ASIA	342	2449	3896	1033	7509	7509
		LAM	199	1078	1328	2586	4427	4427
		MENA	90	561	1706	0	0	0
		Total	3665	9731	11497	11052	23206	23206
dont Vana (Gkcal/jour)	VEGE	OECD	123	528	284	497	775	775
		SSA	9	110	0	0	249	249
		FSU	36	34	17	68	39	39
		ASIA	31	353	419	335	545	545
		LAM	27	252	283	385	561	561
		MENA	22	91	0	0	91	91
		Total	249	1368	1003	1284	2260	2260

Annexe 13 : Le traitement des données de disponibilités alimentaires dans les scénarios Agrimonde

Les disponibilités totales aux niveaux régionaux et mondial sont données dans le rapport du *Millennium Ecosystem Assessment* mais leur décomposition par produit n'est pas précisée [Carpenter et al., 2005].

Pour réussir à quantifier, dans chaque région, la quantité de calories disponibles par type de produit (végétale, animal ruminant/monogastrique, aquatique d'eau douce/marin) du scénario *Global Orchestration* du *Millennium Ecosystem Assessment*, nous avons donc dû procéder à quelques extrapolations présentées ci-après :

- *Les produits d'origine animale*

Les évolutions régionales des consommations de viande et de céréales en kilogrammes entre 2000 et 2050 sont données dans le rapport du *Millennium Ecosystem Assessment*. Les évolutions connues pour *Global Orchestration* ont alors servi de base à la quantification des disponibilités en calories d'origine animale du scénario Agrimonde GO. Effectivement, en appliquant ce coefficient d'évolution aux chiffres de disponibilités alimentaires d'origine animale terrestre (viande, lait et produits laitiers, œufs...) de 2000, nous avons pu extrapoler les disponibilités en calories d'origine animale pour chaque région d'Agrimonde GO.

N.B : Les disponibilités alimentaires en 2000 ont été calculées à partir de la base FAOSTAT 1 de la FAO, et sont les mêmes dans Agrimonde 1 et Agrimonde GO (cf. chapitre I.2).

- *Les produits aquatiques*

Concernant les produits aquatiques, seules des indications qualitatives sur l'évolution de la pêche et de l'aquaculture sont données dans le *Millennium Ecosystem Assessment*. Elles ont été traduites en évolution chiffrée par région et la même extrapolation que pour les disponibilités d'origine animale a pu être effectuée pour chiffrer les disponibilités régionales de calories aquatiques du scénario Agrimonde GO.

Il faut cependant noter que les consommations de produits aquatiques sont faibles en comparaison avec les consommations de produits végétaux ou d'origine animale terrestre. Elles ne dépassent jamais 2% des calories totales consommées.

- *Les produits végétaux*

Les disponibilités en calories végétales du scénario Agrimonde GO correspondent aux calories restantes pour atteindre le niveau de disponibilités régionales totales données par le *Millennium Ecosystem Assessment*. Elles résultent du calcul suivant :

Disponibilités végétales = Disponibilités totales – Disponibilités animales terrestres – Disponibilités aquatiques.

Annexe 14 : Le traitement des données de surfaces dans les scénarios Agrimonde

I – Des surfaces de référence différenciées entre les scénarios du MEA et d'Agrimonde

Les surfaces utilisées par le MEA et les surfaces utilisées par Agrimonde (d'après les données FAO) présentent trois différences notables :

- 1) les usages des sols définis par la FAO et ceux définis par le MEA sont différents. Par exemple, les surfaces cultivables en 2000 font apparaître d'importantes différences en MENA, FSU, et dans une moindre mesure en LAM et Asie.
- 2) le total des surfaces par région est également différent (environ 1 à 2 % entre les données du MEA et celles de la FAO)
- 3) certains pays aux données manquantes ou incertaines ont été éliminés des régions Agrimonde (voir section I.2.)

Tableau A : Surfaces de terres cultivées (dont SCNA) selon le MEA et selon Agrimonde (année 2003, x100 millions d'ha)

Régions	MEA 2000	Agrimonde 2000
Afrique N - MO	0,94	0,83
Afrique subsah.	1,88	1,92
Amérique latine	1,72	1,62
Asie	4,56	4,54
Ex-URSS	2,16	2,03
OCDE-1990	4,17	4,18

II – Le traitement des surfaces dans Agrimonde GO à partir du scénario *Global Orchestration* du MEA

Pour représenter le scénario Agrimonde GO en 2050 sur des bases comparables au scénario Agrimonde 1, nous avons apporté les corrections suivantes aux surfaces des régions du MEA :

- 1) Nous avons conservé la répartition de l'usage des terres par région (en pourcentage) telle qu'elle est fournie par le MEA. Ainsi, les rendements donnés par le MEA en 2050 continuent de s'appliquer aux surfaces cultivées telles que définies par le MEA ;
- 2) Nous avons appliqué aux surfaces du MEA un coefficient correcteur identique pour chaque usage du sol afin de ramener la surface totale des régions MEA à la surface totale des régions Agrimonde ;
- 3) Nous avons éliminé les mêmes pays des régions du MEA et des régions Agrimonde dans le calcul des surfaces en fonction des usages des sols de ces pays.

Tableau B : Surfaces cultivées (dont SCNA) dans le scénario GO après correction

Régions	MEA 2000	<i>Global Orchestration</i> 2050 (données MEA)	Agrimonde GO 2050
Afrique N - MO	0,94	0,96	0,93
Afrique subsah.	1,88	3,01	3,03
Amérique latine	1,72	2,65	2,66
Asie	4,56	4,98	5,04
Ex-URSS	2,16	2,19	2,23
OCDE-1990	4,17	4,57	4,67

Table des matières

La prospective AGRIMONDE : Une initiative de l'INRA et du CIRAD pour créer une plateforme d'analyse critique de scénarios pour la réflexion stratégique collective	1
Partie I Agrimonde : une plateforme pour animer la réflexion sur le devenir des agricultures et alimentations du monde	5
I.1 De la construction de scénarios à la conception d'une plateforme d'animation prospective	6
I.1.1 Agrimonde 1, un scénario de développement durable, construit en référence aux scénarios du MEA	6
I.1.2 Une plateforme d'animation prospective pour faciliter la réflexion sur une question complexe	8
I.1.3 Positionnement d'Agrimonde par rapport aux autres approches prospectives des équilibres alimentaires mondiaux	13
I.2 Agribiom : un module quantitatif rétro-prospectif	17
I.2.1 Données, structure et principes d'Agribiom	18
I.2.1.1 Organisation générale des traitements	18
I.2.1.2 Couvertures temporelle et géographique	19
I.2.1.3 Populations humaines	20
I.2.1.4 Utilisation des terres	21
I.2.1.5 Potentiels cultivables	22
I.2.1.6 Bilans ressources - emplois de biomasses alimentaires	24
I.2.1.7 Biomasses non-alimentaires	27
I.2.1.8. Modèles de productions animales	28
I.2.1.9. Interface et simulations interactives	34
I.2.2 Rétrospectives 1961-2003	36
I.2.2.1 Populations humaines	36
I.2.2.2 Consommations alimentaires	37
I.2.2.3. Occupation des terres	38
I.2.2.4. Productions et productivités alimentaires	40
I.2.2.5 Usages des produits alimentaires	41
I.2.2.6 Commerce alimentaire	42
Partie II Agrimonde 1 et agrimonde GO : Exploration prospective	47
II.1. Des scénarios du MEA aux principes de construction du scénario Agrimonde 1	48
II.1.1 Les scénarios du Millennium Ecosystem Assessment	48
II.1.2 Les principes de construction du scénario Agrimonde 1	51
II.2 Les hypothèses quantitatives des scénarios	55
II.2.1 Les hypothèses quantitatives relatives aux emplois des productions agricoles	55
II.2.1.1 Quelles populations en 2050 ?	55
II.2.1.2 Quelles consommations alimentaires en 2050 ?	58
II.2.2 Les hypothèses quantitatives relatives aux ressources agricoles	66
II.2.2.1 Quelles occupations des sols en 2050 ?	67
II.2.2.2 Quels rendements des cultures alimentaires en 2050 ?	85
II.3 Les bilans Ressources – Emplois : comparaison des scénarios Agrimonde 1 et Agrimonde GO	99
II.3.1 Définition des composantes d'un bilan ressources - emplois	99
II.3.1.1 Définition des composantes des ressources régionales de biomasse	100
II.3.1.2 Définition des composantes des emplois régionaux de biomasse	101

II.3.2 Bilan ressources - emplois en 2003	102
II.3.3 Les règles d'équilibrage ressources - emplois des scénarios prospectifs	103
II.3.3.1 Les étapes de la variante 1	103
II.3.3.2 Les étapes de la variante 2	104
II.3.4 Le bilan mondial ressources – emplois du scénario Agrimonde 1	105
II.3.5 Le bilan mondial ressources – emplois du scénario Agrimonde GO	108
II.3.6 Conclusion	111
II.4 Agrimonde 1 et Agrimonde GO : confrontation, cohérence, facteurs d'évolution	112
II.4.1 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Afrique du Nord - Moyen Orient	112
II.4.2 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Afrique subsaharienne	115
II.4.3 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Amérique latine	118
II.4.4 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Asie	120
II.4.5 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Ex Union soviétique	123
II.4.6 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : OCDE-1990	125
II.4.7 Confrontation, cohérence, facteurs d'évolution : Monde	126
II.5 De l'exploration des hypothèses qualitatives aux récits de scénarios	129
II.5.1 Hypothèses sur les variables qualitatives du système Agrimonde	129
II.5.2 Récits des scénarios Agrimonde GO et Agrimonde 1	137
II.5.2.1 Une description possible du monde dans le scénario Agrimonde GO	137
II.5.2.2 Une description possible du monde dans le scénario Agrimonde 1	139
Partie III Regards sur les enjeux relatifs aux options technologiques, aux comportements alimentaires et aux échanges	149
III.1 Pistes d'approfondissement	151
III.1.1 Pistes pour des approfondissements dans la quantification des hypothèses prospectives et leur mise en discussion	151
III.1.2 Enjeux et questions soulevés par l'exploration prospective qui appellent des approfondissements et des travaux de recherche	153
III.2 Options pour l'intensification écologique : changements techniques, sociaux et territoriaux	156
III.3 Les comportements alimentaires en question : les ruptures envisagées sont-elles plausibles ?	161
III.4 Echanges et régulations : quelles perspectives ?	167
ANNEXES	171
Annexe 1. Les pays analysés et leur classement en région MEA	173
Annexe 2. Les lignes CDU classées en biomasses alimentaires	175
Annexe 3. Les populations humaines	177
Annexe 4. Le disponible pour l'alimentation	178
Annexe 5. L'occupation des terres	179
Annexe 6. Les potentiels cultivables	180
Annexe 7. Les productions alimentaires	181
Annexe 8. La productivité des espaces	182
Annexe 9. L'usage des produits alimentaires végétaux	183
Annexe 10. Le commerce de produits alimentaires	185
Annexe 11. Comparaison des productions animales observées et simulées	186
Annexe 12. Principales hypothèses des simulations Agrimonde	188
Annexe 13 : Le traitement des données de disponibilités alimentaires dans les scénarios Agrimonde	190
Annexe 14 : Le traitement des données de surfaces dans les scénarios Agrimonde	191

